

5 ANÁLISE DO FENÔMENO DE LIQUEFAÇÃO NUMA PILHA DE LIXIVIAÇÃO NO PERÚ

5.1. Introdução

Pilha de lixiviação é uma tecnologia para processamento de minérios na qual uma grande quantidade de minério é lixiviada por soluções químicas que extraem os minerais desejados. A solução é irrigada na parte superior da pilha e dissolve o minério ao percolar através da pilha e é recolhida na sua base para novamente voltar a ser irrigada num número de ciclos dependendo do minério e outros fatores. Logo, a solução enriquecida é transportada para por processos químicos extrair o minério. A fundação de uma pilha é composta por vários componentes: o sob-revestimento (geralmente argila compactada), o revestimento (geomembrana), o sobre-revestimento (geralmente ripio o material drenante) e um sistema de coleta da solução (tubos de coleção) no interior do sobre-revestimento.

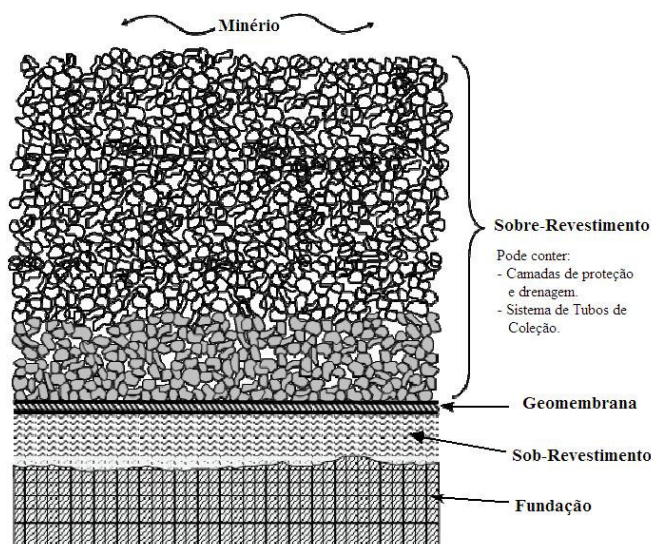


Figura 5.1- Típico esquema da Fundação de uma pilha.

A pilha em estudo tem experimentado um número de colapsos do sistema principal de coleção de solução durante a vida dela. Estes colapsos são manifestados como sumidouros na superfície do empilhamento do minério e

podem ter acontecido por danos durante a construção ou modificação da espessura do sobre-revestimento, ou pela pressão do caminhão fora da estrada ou empilhador.



Figura 5.2- Vista lateral da pilha de lixiviação



Figura 5.3- Vista frontal da pilha de lixiviação

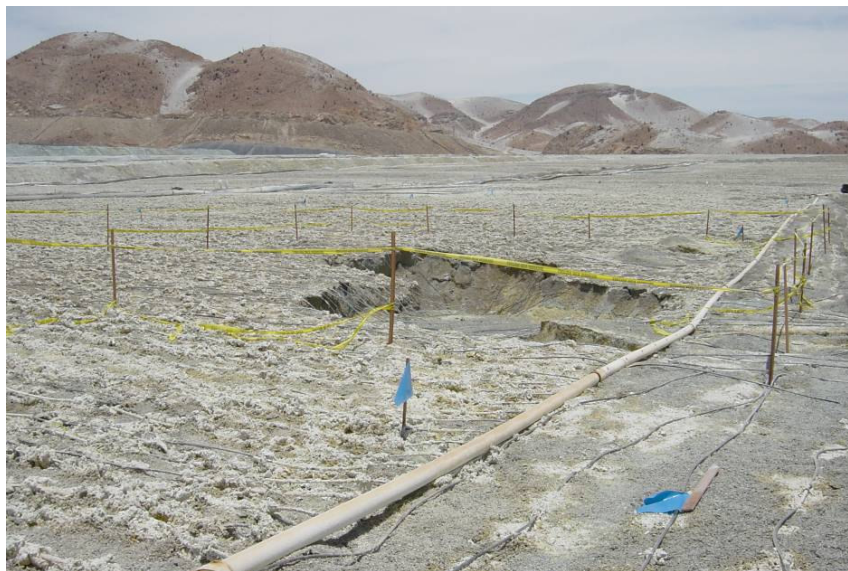


Figura 5.4- Sumidouros formados na crista da pilha de lixiviação



Figura 5.5- Área de ruptura da pilha de lixiviação

Em geral, quando ocorre um colapso de um tubo perto do acoplador um dos lados da junta poderia ser aberto para a pilha. Uma vez que a área é lixiviada, o minério poderia ser lavado dentro do tubo, e se a abertura é o suficientemente grande, um vazio na pilha poderia se desenvolver progressivamente sobre o acoplador e eventualmente colapsar. A inundação continuada do minério dentro do tubo de coleção e o subsequente colapso de vazios eventualmente se propaga para a superfície na forma de sumidouro.

Esta pilha de lixiviação desde sua construção tem tido varias rupturas dos tubos de coleção e um gradual incremento do nível freático da solução dentro da pilha a qual tem elevado questões sobre a estabilidade geral da pilha e acentuando-se a preocupação com a possibilidade que um ou mais tubos de coleção colapsem num futuro próximo devido aos incrementos das pressões de sobrecargas causadas pelo crescimento da pilha.

Deve se anotar que o colapso de um tubo de coleção numa pilha não significa que não é funcional, mas provê uma constrição num único ponto da tubulação. Conseqüentemente, o fluxo recua no tubo e se dispersa dentro do sobre-revestimento. Se o sobre-revestimento tem suficiente capacidade para transportar o fluxo, a solução voltará dentro do tubo depois da constrição. Se o

sobre-revestimento não tem suficiente capacidade, a solução migrará dentro do minério incrementando possivelmente o nível freático dentro da pilha, este fato tem sido observado nesta pilha.

5.2.

Recopilação dos estudos na pilha de lixiviação

5.2.1.

Análise do perigo sísmico

O projeto está localizado numa zona de alta sismicidade segundo o Mapa de Zonificação Sísmica do Peru da Norma Peruana de Projetos Sismorresistentes. Na área de projeto têm acontecido sismos de intensidade IX na escala de Mercalli Modificado (MM). Além disso, sismos de intensidade XI MM têm sido registrados perto do projeto.

Um sismo forte na zona de subducção afetando a área do projeto (localizado a menos de 200 km) teve uma magnitude de 6,9 Mb (magnitude 8,3 Mw) e o epicentro foi localizado a 33 quilômetros de profundidade, com aceleração na superfície do terreno de 0,30g e 0,22g registrados nos eixos E-O e N-S, respectivamente. Outro sismo forte na zona de subducção, localizado um pouco mais afastado da área do projeto teve uma magnitude de 7,0 ML (magnitude 7,9-8,0 Mw) e o epicentro a 40 quilômetros de profundidade. A aceleração na superfície do terreno foi de 0,28g e 0,34g registrados nos eixos E-O e N-S, respectivamente.

Atualmente a indústria prática para obter o Sismo Base de Projeto (Design Basis Earthquake, DBE) deixou de usar a Aceleração Pico na Terra (Peak Ground Acceleration, PGA) porque este não modela as condições atuais do lugar. A prática agora é utilizar aceleração espectral específica do lugar. As pilhas de lixiviação são estruturas de terra com grandes períodos, então, o período natural é considerado entre 0,5 e 2,0 segundos.

O projeto na época de estudo tinha mais outros dois anos de vida operacional, isto é, minério sendo colocado e lixiviado; e só processo de lixiviado, isto é, a vida pós operacional, era esperado para continuar por mais três anos adicionais.

Segundo o estudo, foi desenvolvida uma figura onde se desenhou as acelerações espectrais com um período de 1 segundo, onde as acelerações espectrais associadas com eventos de períodos de retorno de 100, 500 e 1000 anos foram 0,20g, 0,35g, e 0,39g, respectivamente. (ver Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Acelerações Espectrais

Vida do Projeto (Anos)	Aceleração Espectral (G)	Período de Retorno do Sismo (Anos)	Probabilidade de Excedência Anual (P_o)	Probabilidade de Excedência dentro da Vida do Projeto (%)
2	0,20	100	0,0100	2,0
2	0,35	500	0,0020	0,4
2	0,39	1000	0,0010	0,2
5	0,20	100	0,0100	5,0
5	0,35	500	0,0020	1,0
5	0,39	1000	0,0010	0,5

Tipicamente, a indústria usa acelerações com períodos de retorno de 100 e 500 anos para projetar as instalações de lixiviação. A determinação da aceleração do DBE depende da vida do projeto, risco das instalações durante as operações, e risco durante a vida.

5.2.2.

Características do minério

O minério que é colocado na pilha é triturado em três estágios de circuitos de trituração e peneiração para produzir um produto de 3/8 polegada. O produto triturado é aglomerado usando ácido concentrado e transportado à pilha sobre um comboio terrestre. O minério é então colocado sobre a pilha usando uma esteira.

Distribuição granulométrica

O minério colocado sobre a pilha pode ser caracterizado como areia siltosa ou areia argilosa com pedregulho, também como pedregulho siltosa com 12 a 23 % de material menor da peneira No. 200 (finos).

Segundo os trabalhos de campo, se comprovou que existe alguma degradação do minério, causado provavelmente por:

- O transporte do minério para a pilha
- A lixiviação do minério

Estes mecanismos de degradação resultam num incremento geral da percentagem de finos de 5 a 10%. Os finos foram classificados de acordo com seu índice de plasticidade (IP) principalmente como siltes.

Massa específica

Baseados no relatório do projeto original da pilha, a massa específica do minério colocado na pilha deveria estar entre 1,51 ton/m³ (densidade inicial empilhada) e 2,00 ton/m³ (densidade das camadas inferiores) e uma massa específica média foi estimada para ser aproximadamente 1,60 ton/m³.

Cinco anos depois de ter iniciado a construção da pilha, foi determinada a massa específica média do minério in-situ, encontrando-se um valor aproximadamente de 1.90 ton/m³, dezanove por cento maior que no projeto.

Ensaio posteriores de SPT demonstraram que a massa específica do minério na pilha tem uma variação de 1,61 ton/m³ (densidade inicial empilhada) a 2,33 ton/m³ (densidade das camadas inferiores) e uma massa específica média foi estimada para serem aproximadamente 2,11 ton/m³, mais de trinta por cento maior que no projeto inicial.

Tabela 5.2 - Comparação das massas específicas no Projeto e as encontrados na construção

Etapa	Massa Específica do minério (ton/m ³)			
	Empilhada	Camadas inferiores	Média	
No Projeto original	1,51	2,00	1,60	
5.0 anos de funcionamento da pilha	---	---	1,90	+19%
5.5 anos de funcionamento da pilha	1,61	2,33	2,11	+32%

Permeabilidade

A permeabilidade do minério é geralmente o parâmetro crítico que afeta o projeto e comportamento da pilha. A condutividade hidráulica dos materiais é afetada por:

- Massa específica, a condutividade hidráulica geralmente decresce com o aumento da massa específica do material.
- Gradação, materiais de pequenos tamanhos e o alto conteúdo de finos fazem que a condutividade hidráulica seja baixa. Igualmente, os materiais bem graduados tendem a ter uma permeabilidade mais baixa que os materiais uniformemente graduados.
- Tipo de finos, tipicamente materiais com finos argilosos tem uma condutividade inferior que os materiais siltosos.
- Matriz do material, a matriz estrutural ou estrutura de poros do material afeta sua permeabilidade.

A permeabilidade tem um papel importante na operação e estabilidade das pilhas de lixiviação. A pilha de lixiviação em estudo apresenta uma aparente baixa permeabilidade, pelo qual foram realizados vários estudos para analisar a permeabilidade do minério e seus efeitos no desempenho da pilha.

Foram realizados ensaios de permeabilidade em parede rígida e flexível usando reffinate, obtendo-se uma permeabilidade de 10^{-3} cm/s a 10^{-4} cm/s para uma altura de empilhamento de 10 metros, para 30 metros a permeabilidade foi de 10^{-4} cm/s.

Também se realizaram um programa de ensaios de permeabilidade in-situ, quando a pilha tinha completado a sexta camada (o empilhado tinha aproximadamente 36 metros de altura). Os resultados dos ensaios mostraram que o minério exibiu uma permeabilidade geral de $1,5 \times 10^{-3}$ cm/s e nas camadas inferiores a permeabilidade foi estimada em $6,0 \times 10^{-4}$ cm/s. No tempo do programa de ensaios, a taxa de aplicação da solução equivalente foi de $2,5 \times 10^{-4}$ cm/s. Então, a condutividade hidráulica nas camadas inferiores da pilha foi próxima à taxa de aplicação equivalente como é evidenciado na pilha com 5 metros de solução acima do revestimento.

Como a altura da pilha foi acrescentada de 36 metros para 60 metros, o nível de solução foi elevado de 5 metros para 20 metros.

5.2.3. Piezômetros

Uma serie de piezômetros foram instalados na pilha, a dois metros do revestimento, para medir a superfície freática em resposta à adição de novas camadas e ciclos de lixiviação.

Baseados nos piezômetros, os níveis de solução na seção oeste apresentam ser os mais sensíveis às operações de lixiviação no talude acima. Isto poder ser devido à topografia nesta área que é mais plana que nas seções central e leste da pilha. Também, o sistema de coleção nesta área tem uma maior trajetória de fluxo que nas outras áreas.

A seção leste é a menos sensível às operações de lixiviação e tem o menor nível freático. Isto pode ocorrer devido ao maior gradiente da base da pilha e à menor área de lixiviação contribuinte à área do piezômetro leste.

Normalmente nas pilhas de lixiviação, os piezômetros apresentam picos e vales durante as leituras num ano como resultado das operações de lixiviação. Isto é verificado também nestes piezômetros, mas o colapso de um tubo de coleção fez que o nível freático aumentasse em 5 metros na zona oeste de pilha causando uma falha local do talude.

Baseado nos dados dos piezômetros parece que há uma tendência geral de incremento do nível de solução acima do sistema de revestimento quando camadas adicionais são colocadas. Incrementos significantes dentro dum empilhamento tipicamente são devido a que as permeabilidades do minério e da capas de drenagem serem menores que a taxa de aplicação da solução.

5.2.4. Investigações geotécnicas

5.2.4.1. Programa de campo

O programa de campo consistiu de: duas calicatas, oito sondagens com medidas de SPT e um levantamento geofísico por ensaio de refração sísmica (ver Figura 5.6)

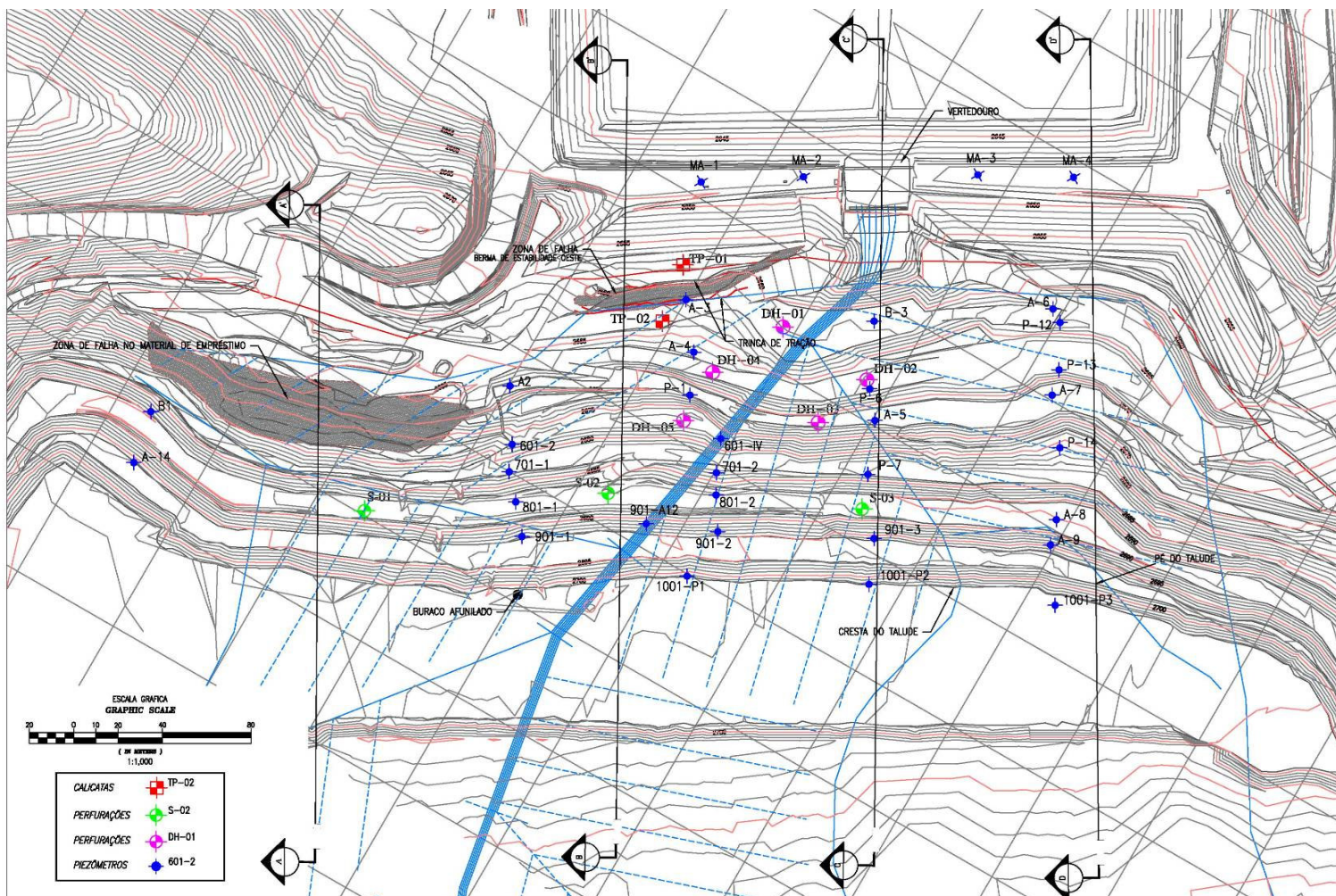


Figura 5.6 - Mapa de localização dos trabalhos de campo e as 4 seções tracejadas para as análises.

As calicatas foram escavadas perto do pé da pilha com o objetivo de determinar o nível freático nessa área.

Tabela 5.3 - Resume das escavações a céu aberto

Calicata	Profundidade (m)	Nível Freático (m)
TP-01	0,50	0,00
TP-02	3,50	1,90

As sondagens foram executadas com o objetivo de realizar Ensaio de Penetração Standard (SPT) para determinar a densidade relativa com a profundidade e o número de golpes com a profundidade para a análise de liquefação e estabilidade

As sondagens em geral apresentam um incremento nos valores de resistência à penetração (valor de N) com a profundidade e decresce quando o nível freático (a solução) é atingido, mas logo a tendência é crescer novamente. Na sondagem S-03 os valores de SPT não observaram o mesmo decréscimo no número de golpes quando o nível freático é interceptado.

Os números de golpes medidos nas três perfurações indicam que há uma tendência geral de incremento com a profundidade; e a densidade relativa pode ser classificada como variando de fofa perto da superfície a fofa a meio densa abaixo dos 10 metros.

As sondagens denominadas como DH foram escavadas sobre os minérios superficialmente densos, em estado cimentado devido a processos de lixiviação e a formação de sal. Por tanto, valores de N resultaram muito altos obtendo recusa em alguns casos, mas não é representativo do minério. Embaixo desta capa de material denso, o minério saturado pode ser encontrado em condição meio densa e que poderia perder esta condição densa se chegar saturar por incremento do nível freático.

Tabela 5.4 - Resume das sondagens e dados do SPT

Sondagem	Prof. do Nível Freático (m)	Prof. (m)	Valor de N (golpes/30cm)	Sondagem	Prof. do Nível Freático (m)	Prof. (m)	Valor de N (golpes/30cm)
S-01	15,50	0,50	5	S-02	20,00	2,50	8
		3,00	6			5,00	11
		5,50	11			7,50	11
		8,00	12			10,00	13
		10,50	11			12,50	16
		13,00	14			15,00	16
		15,50	22			17,50	17
		18,00	16			20,00	13
		20,50	11			22,50	29
		23,00	14			25,00	16
		25,50	16			27,50	25
		28,00	19			30,00	27
S-03	23,00	0,50	11	DH-05	10,00	1,00	11
		3,00	8			2,00	13
		5,50	9			3,00	13
		8,00	11			4,00	12
		10,50	18			5,00	13
		13,00	17			6,00	18
		15,50	20			7,00	17
		18,00	16			8,00	16
		20,50	18			9,00	17
		23,00	21			10,00	13
		25,50	22			11,00	18
		28,00	21			12,00	26
		30,50	24				
DH-01	--	1,00	recusa	DH-02	--	2,00	18
		2,00	40			3,00	18
		3,00	recusa			4,00	17
		4,00	26			5,00	17
		5,00	37			6,00	18
		6,00	recusa			7,00	18
DH-03	--	1,00	recusa	DH-04	--	1,00	26
		2,00	recusa			2,00	14
		4,20	39			3,00	12
		5,00	13			4,00	13
		6,00	11			5,00	10
		7,00	13			6,00	8
						7,00	11

O estudo de refração sísmica foi realizado na frente da pilha com a finalidade de obter informação a respeito do perfil sísmico e dos parâmetros dinâmicos do minério. Um total de 480 metros de comprimento foi executado dividido em duas linhas de 240 metros cada uma. O perfil sísmico foi determinado baseado na velocidade de propagação das ondas compressivas ou ondas cisalhantes.

5.2.4.2. Ensaios de laboratório

Das amostras recuperadas da colher partida do SPT realizaram-se análise por peneiração para classificar as amostras por SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos). O qual ajudará na avaliação do potencial de liquefação.

Tabela 5.5 - Resume da Classificação do Minério

SPT	Prof. (m)	% Passa Nº4	% Passa Nº200	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Ter de Umidade (%)	Classific. (SUSC)
SP-01 (1)	0,50-0,95	74,5	21,0	---	NP	NP	6,8	SM
SP-01 (2)	3,00-3,45	60,3	21,2	---	NP	NP	6,2	GM
SP-01 (3)	5,50-5,95	69,0	19,6	---	NP	NP	8,7	SM
SP-01 (4)	8,00-8,45	65,7	21,0	---	NP	NP	16,1	SM
SP-01 (5)	10,50-10,95	68,9	14,9	---	NP	NP	7,1	SM
SP-01 (6)	13,00-13,45	65,9	12,3	---	NP	NP	13,0	SM
SP-01 (7)	15,50-15,95	79,1	30,8	---	NP	NP	9,7	SM
SP-01 (8)	18,00-18,45	62,5	2,4	---	NP	NP	10,3	SP
SP-01 (9)	20,50-20,95	68,6	15,2	---	NP	NP	8,4	SM
SP-01(10)	23,00-23,45	65,8	14,1	---	NP	NP	9,2	SM
SP-01 (11)	25,50-25,95	57,4	13,5	---	NP	NP	10,0	SM
SP-01 (12)	28,00-28,45	67,5	13,9	---	NP	NP	9,3	SM
SP-02 (1)	2,50-2,95	63,1	16,7	---	NP	NP	5,8	SM
SP-02 (2)	5,00-5,40	68,8	21,6	---	NP	NP	6,2	SM
SP-02 (3)	7,50-7,95	61,3	17,0	---	NP	NP	6,8	SM
SP-02 (4)	10,00-10,45	59,4	19,0	---	NP	NP	7,3	GM
SP-02 (5)	12,50-12,95	69,4	19,3	---	NP	NP	4,6	SM
SP-02 (6)	15,00-15,45	66,0	12,8	---	NP	NP	8,0	SM
SP-02 (7)	17,50-17,95	66,7	16,5	---	NP	NP	8,5	SM
SP-02 (8)	20,00-20,45	64,8	13,6	---	NP	NP	8,4	SM
SP-02 (9)	22,50-22,95	84,9	32,9	---	NP	NP	5,1	SM
SP-02 (10)	25,00-25,45	71,4	26,9	---	NP	NP	6,7	SM
SP-02 (11)	27,50-27,95	69,9	15,5	---	NP	NP	8,6	SM
SP-02 (12)	30,00-30,45	63,1	14,0	---	NP	NP	9,7	SM
SP-03 (1)	0,50-0,95	48,2	0,5	---	NP	NP	8,6	GM
SP-03 (2)	3,00-3,45	68,7	22,8	---	NP	NP	6,7	SM
SP-03 (3)	5,50-5,95	66,9	22,2	---	NP	NP	5,2	SM
SP-03 (4)	8,00-8,45	62,9	12,8	---	NP	NP	13,7	SM
SP-03 (5)	10,50-10,95	70,0	15,0	---	NP	NP	9,3	SM
SP-03 (6)	13,00-13,45	73,3	16,9	---	NP	NP	6,5	SM
SP-03 (7)	15,50-15,95	62,8	14,7	---	NP	NP	7,2	SM
SP-03 (8)	18,00-18,45	61,5	13,9	---	NP	NP	8,4	SM
SP-03 (9)	20,50-20,95	73,6	21,6	---	NP	NP	7,6	SM

SPT	Prof. (m)	% Passa N°4	% Passa N°200	Limite Líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Ter de Umidade (%)	Classific. (SUSC)
SP-03 (10)	23,00-23,45	70,5	16,3	---	NP	NP	9,8	SM
SP-03 (11)	25,50-25,95	68,1	12,1	---	NP	NP	8,9	SM
SP-03 (12)	28,00-28,45	69,6	13,2	---	NP	NP	9,3	SM
SP-03 (13)	30,50-30,95	69,1	16,1	---	NP	NP	7,3	SM
DH-01/SPT-03	3,00-3,45	72,3	20,9	27,0	14,0	13,0	6,2	SC
DH-01/SPT-05	5,00-5,45	77,8	25,0	26,0	14,0	12,0	5,5	SC
DH-02/SPT-02	3,00-3,45	71,2	23,1	25,0	14,0	11,0	6,3	SC
DH-02/SPT-05	6,00-6,45	73,5	20,6	24,0	14,0	10,0	5,8	SC
DH-03/SPT-02	2,00-2,45	73,7	24,1	24,0	14,0	10,0	4,8	SC
DH-03/SPT-04	5,00-5,45	71,6	20,0	26,0	15,0	11,0	6,8	SC
DH-04/SPT-03	3,00-3,45	72,1	21,2	23,0	13,0	10,0	5,1	SC
DH-04/SPT-05	5,00-5,45	69,7	17,7	25,0	14,0	11,0	6,7	SC
DH-05/SPT-04	4,00-4,45	74,1	21,1	23,0	14,0	9,0	6,2	SC
DH-05/SPT-09	9,00-9,45	75,0	17,3	17,0	14,0	3,0	4,6	SM
DH-Mezcla	-	75,8	20,9	27,0	26,0	11,0	-	SC

A média dos conteúdos de finos observado no ensaio de laboratório foi 16,9% com uma máxima de 32,9%.

Adicionalmente, um ensaio triaxial consolidado não drenado (CU) foi executado para determinar os parâmetros de resistência cisalhante em condições não drenadas, dando um valor de 32 graus de ângulo de atrito e zero em coesão em tensões efetivas; porém, o um máximo ângulo de atrito baseado na trajetória $p-q'$ poderia ser 35 graus com coesão zero.

5.2.5.

Revisão dos recalques/movimentos dos marcos topográficos da pilha

Devido às contínuas rupturas dos tubos de coleta e o conseqüente “piping” e falhas local nos taludes, a mineração começou com um controle topográfico na zona noroeste da pilha. Vinte e quatro monumentos de concreto foram instalados na face frontal da pilha para monitorar centímetros do movimento dentro da pilha, devido a que não tinham sido instalados os inclinômetros desde o início, mas precisão destes marcos de concreto é aproximadamente ± 20 milímetros. Não houve dados de marcos instalados anteriormente para determinar o potencial do movimento durante o período da ruptura do talude original.

Os resultados médios dos movimentos são resumidos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Movimentos na Pilha e na Berma de Estabilidade

Localização	Deslocamento Incremental (mm)			Deslocamento Neto (mm)			Velocidade Neta (mm/dia)			Direção Predominante
	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	
Acima falha da fonte de empréstimo	5,7	54,0	0,0	30,5	86,8	2,2	1,1	9,0	0,1	NE
Acima da zona da falha nas camadas 1&2	5,0	18,6	1,0	29,9	59,7	15,7	0,7	1,03	0,34	NE
Zona da falha nas camadas 1&2	8,7	94,8	1,4	57,8	119,4	12,1	2,2	18,1	0,3	NO
Berma de estabilidade oeste	6,7	20,0	1,0	6,7	22,1	1,0	1,2	10,4	0,1	SE

Baseados nestes dados do levantamento topográfico, as zonas de falhas na pilha aparecem como estabilizadas ou somente com um movimento viscoso “creep” menor, devido aos ajustes do talude para uma configuração mais estável. Porém, estas áreas poderiam ser reativadas se houvesse um repentino incremento no nível freático, o qual foi causa original da falha localizada.

5.3.

Análise do potencial de liquefação da pilha de lixiviação

Como se explicou anteriormente, materiais tais como areias e pedregulhos limpas, em estado fofo com propriedades naturais contrativas, como nas pilhas de lixiviação, durante um forte sismo, podem experimentar um desenvolvimento induzido das poropressões, conseqüentemente isto pode conduzir a uma falha no talude devido a uma grande perda da resistência do material, o qual pode conduzir a um desprendimento lateral e recalques no material.

A gradação do minério depositado na pilha em estudo esta dentro do faixa geral de um material potencialmente liquidificável, pelo qual foi analisado o potencial de liquefação e as condições dinâmicas da pilha durante e depois do sismo.

O potencial de liquefação do minério e os efeitos deles na estabilidade global da pilha foram avaliados usando os dados do programa de SPTs segundo foi explicado anteriormente no capítulo 3.1 baseado nos critérios da NCEER

(1998) e Idriss e Boulanger (2006), onde o fator de segurança FSL contra a liquefação é calculada pelas equações desde 3.1 até 3.15 e resumida na equação:

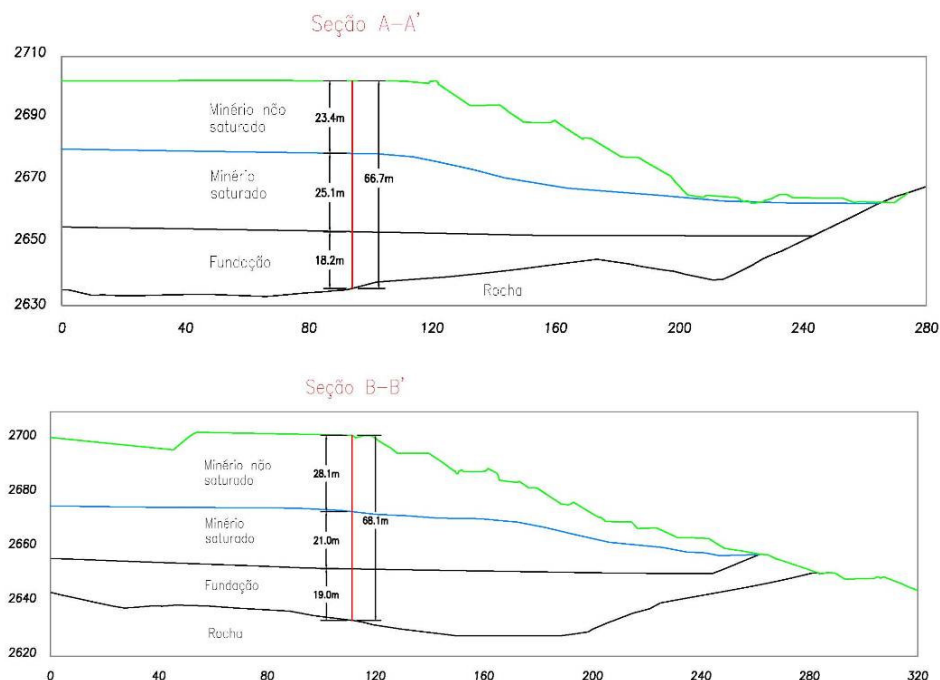
$$FSL = \left(\frac{CRR_{7.5}}{CSR} \right) \cdot MSF \cdot K_{\sigma} \cdot K_{\alpha}$$

5.3.1.

Análise de resposta sísmica

A aceleração pico na superfície da pilha foi calculada baseada numa análise de resposta sísmica, isto é, a resposta da pilha e da fundação para a propagação de ondas cisalhantes do leito rochoso através de uma coluna de solo. Para tal efeito utilizou-se o programa computacional EduShake (1998), o qual esta baseado no programa original do Shake (Schnabel, 1972). As acelerações de sismo no leito rochoso podem se amplificar ou se atenuar, dependendo das propriedades dinâmicas e espessura do material.

Foram analisadas 4 seções denominadas Seção A, B, C e D (Figura 5.6 e Figura 5.7). As propriedades dinâmicas, tais como o módulo cisalhante e a razão de amortecimento foram estimados baseados na literatura técnica existente (Hardin, 1972; Seed e Idriss, 1970; Seed et al., 1984; Vucetic e Dobry, 1991) ou usando a relação empírica ($G_{\max} = 21,7K_2P_a[\sigma_m/P_a]^{0.5}$; $V_{s\max} = [G_{\max}/\rho]^{0.5}$; $1Pa=101,325KPa$) e são mostrados na Tabela 5.7.



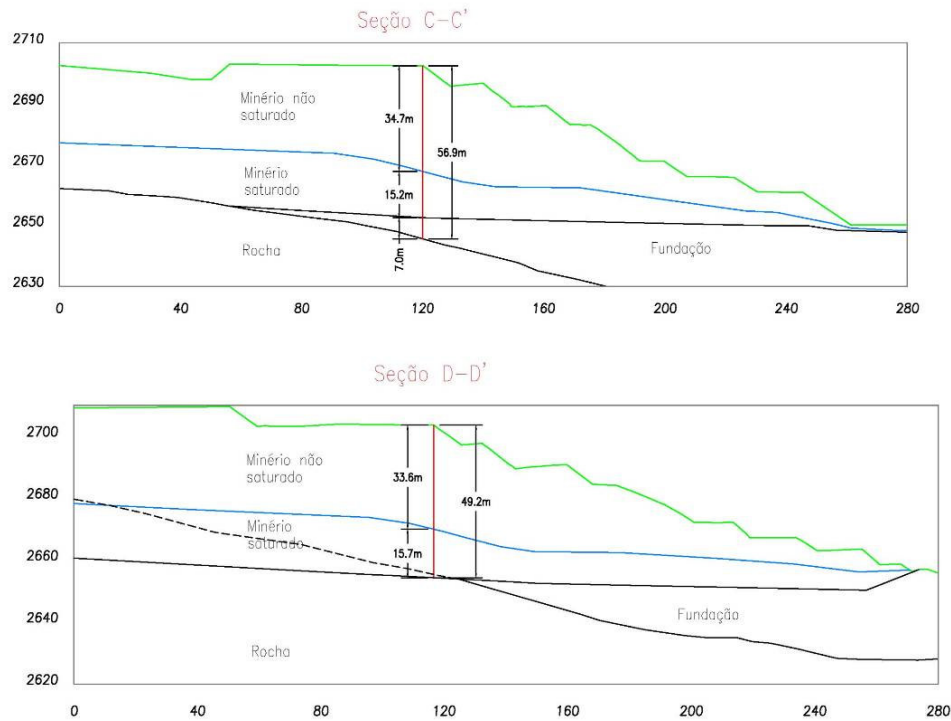


Figura 5.7 - Seções A, B, C e D para análises no EduShake.

Tabela 5.7 - Cálculo das propriedades dinâmicas para serem usadas no EduShake

Seção A e B (Crista) $N_{Ph} = 28.1 \text{ m}$

No	Espessura m	Prof. m	γ_m KN/m ³	K_0 [1-Sen ϕ]	K_2	σ'_m KPa	G_{max} MPa	$V_{s,max}$ m/s	ν [$K_0/(1+K_0)$]	E MPa	B MPa	Material
1	5.0	5.0	16.0	0.43	40.0	49.4	61.4	194.1	0.30	159.6	132.3	Minério
2	5.0	10.0	16.0	0.43	40.0	98.8	86.9	230.8	0.30	225.6	187.0	
3	5.0	15.0	16.0	0.43	40.0	148.2	106.4	255.4	0.30	276.4	229.1	
4	5.0	20.0	16.0	0.43	40.0	197.6	122.8	274.4	0.30	319.1	264.5	
5	4.0	24.0	16.0	0.43	40.0	237.2	134.6	287.2	0.30	349.6	289.8	
6	4.1	28.1	16.0	0.43	40.0	277.7	145.6	298.8	0.30	378.2	313.6	
7	4.0	32.1	16.5	0.43	50.0	318.4	194.9	340.4	0.30	506.3	419.7	Minério
8	4.0	36.1	16.5	0.43	50.0	359.2	207.0	350.8	0.30	537.8	445.8	Saturado
9	4.0	40.1	16.5	0.43	50.0	400.0	218.4	360.4	0.30	567.4	470.4	
10	4.0	44.1	16.5	0.43	50.0	440.7	229.3	369.2	0.30	595.7	493.8	
11	5.0	49.1	23.3	0.43	50.0	512.7	247.3	322.7	0.30	642.4	532.6	
12	5.0	54.1	16.5	0.43	130.0	563.6	674.2	633.1	0.30	1751.4	1451.8	Fundação
13	5.0	59.1	16.5	0.43	130.0	614.6	704.0	646.9	0.30	1828.8	1516.0	(Aterro Compactado)
14	5.0	64.1	16.5	0.43	130.0	665.5	732.6	660.0	0.30	1903.1	1577.6	
15	4.0	68.1	16.5	0.43	130.0	706.3	754.7	669.8	0.30	1960.6	1625.2	
16	10.0	78.1	25.5	--	--	--	64984.7	5000.0	0.3	168960.2	140800.2	Rocha

Seção C (Crista) $N_{Ph} = 34.7 \text{ m}$

No	Espessura m	Prof. m	γ_m KN/m ³	K_0 [1-Sen ϕ]	K_2	σ'_m KPa	G_{max} MPa	$V_{s,max}$ m/s	ν [$K_0/(1+K_0)$]	E MPa	B MPa	Material
1	5.0	5.0	16.0	0.43	40.0	49.4	61.4	194.1	0.30	159.6	132.3	Minério
2	5.0	10.0	16.0	0.43	40.0	98.8	86.9	230.8	0.30	225.6	187.0	
3	5.0	15.0	16.0	0.43	40.0	148.2	106.4	255.4	0.30	276.4	229.1	
4	5.0	20.0	16.0	0.43	40.0	197.6	122.8	274.4	0.30	319.1	264.5	
5	5.0	25.0	16.0	0.43	40.0	247.0	137.3	290.2	0.30	356.8	295.7	
6	5.0	30.0	16.0	0.43	40.0	296.5	150.4	303.7	0.30	390.8	324.0	
7	4.7	34.7	16.0	0.43	40.0	342.9	161.8	315.0	0.30	420.3	348.4	
8	5.0	39.7	16.5	0.43	50.0	393.9	216.7	359.0	0.30	563.1	466.8	Minério
9	5.0	44.7	16.5	0.43	50.0	444.8	230.3	370.1	0.30	598.4	496.1	Saturado
10	5.2	49.9	23.3	0.43	50.0	519.6	249.0	323.8	0.30	646.8	536.2	
11	4.0	53.9	16.5	0.43	130.0	560.4	672.2	632.2	0.30	1746.4	1447.7	Fundação
12	3.0	56.9	16.5	0.43	130.0	591.0	690.3	640.6	0.30	1793.4	1486.6	(Aterro Compactado)
13	10.0	66.9	25.5	--	--	--	64984.7	5000.0				Rocha

Seção D (Crista) $N_{Ph} = 33.6 \text{ m}$

No	Espessura m	Prof. m	γ_m KN/m ³	K_0 [1-Sen ϕ]	K_2	σ'_m KPa	G_{max} MPa	V_{smax} m/s	ν [$K_0/(1+K_0)$]	E MPa	B MPa	Material
1	5.0	5.0	16.0	0.43	40.0	49.4	61.4	194.1	0.30	159.6	132.3	Minério
2	5.0	10.0	16.0	0.43	40.0	98.8	86.9	230.8	0.30	225.6	187.0	
3	5.0	15.0	16.0	0.43	40.0	148.2	106.4	255.4	0.30	276.4	229.1	
4	5.0	20.0	16.0	0.43	40.0	197.6	122.8	274.4	0.30	319.1	264.5	
5	5.0	25.0	16.0	0.43	40.0	247.0	137.3	290.2	0.30	356.8	295.7	
6	5.0	30.0	16.0	0.43	40.0	296.5	150.4	303.7	0.30	390.8	324.0	
7	3.6	33.6	16.0	0.43	40.0	332.0	159.2	312.4	0.30	413.6	342.9	
8	5.0	38.6	16.5	0.43	50.0	383.0	213.7	356.5	0.30	555.3	460.3	Minério
9	5.0	43.6	16.5	0.43	50.0	433.9	227.5	367.8	0.30	591.0	490.0	Saturado
10	5.7	49.3	23.3	0.43	50.0	516.0	248.1	323.2	0.30	644.5	534.3	
11	10.0	59.3	25.5	--	--	--	64984.7	5000.0				Rocha

Os registros sísmicos usados como movimento de ingresso na base são os de Lima de 1974 e de Moquegua de 2001. O sismo de Lima foi usado porque é o mais comumente usado nos análises de resposta sísmica no Peru usando o Shake, enquanto, o sismo de Moquegua é o movimento sísmico mais recente registrado próximo à zona de interesse. Estes registros foram escalados apropriadamente para aceleração de pico do leito rochoso esperado no lugar para os eventos sísmicos de 100 anos (0,20g) e 500 anos (0,35g), segundo a análise de perigo sísmico. (Tabelas 5.1e 5.8).

Tabela 5.8 - Sismos utilizados para o cálculo das acelerações pico na superfície

Características	Registros de Acelerações	
	Moquegua 23/06/2001	Lima 10/03/1974
Estação	MOQ1-Moquegua	Instituto Geofísico Del Perú
Profundidade Focal (Km)	25	--
Duração do Registro (s)	198,92	76,0
Intervalos de toma de Dados (s)	0,01	0,02
Magnitude (Mw)	8,3	--
Componente	E-W	N820
Aceleração Máxima (cm/s/s)	295,22	193,23
Aceleração Máxima (g)	0,301	0,196

Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 5.9. Em todos os casos, houve uma amplificação da aceleração de pico na crista.

Tabela 5.9 - Resumo da análise de resposta sísmica

Análise	Registros de Acelerações			
	MOQUEGUA 2001		LIMA 1974	
Período de Retorno do evento sísmico	500 Anos	100 Anos	500 Anos	100 Anos
Aceleração Máxima no basamento rochoso	0.35g	0.20g	0.35g	0.20g
Seção A & B (Crista)	0.315	0.289	0.412	0.282
Seção C (Crista)	0.318	0.271	0.378	0.257
Seção D (Crista)	0.330	0.272	0.371	0.269
Máxima	0.330	0.289	0.412	0.282
Mínima	0.315	0.271	0.371	0.257
Média	0.321	0.277	0.387	0.269

Como resultado destas análises de resposta sísmica, para as análises de liquefação se usou as acelerações picos de 0,30g para eventos sísmicos de 100 anos e de 0,37g para eventos sísmicos de 500 anos.

5.3.2. Potencial de liquefação

As considerações seguidas para avaliar o potencial de liquefação foram:

- Magnitude do sismo $M_w=8.3$.
- A aceleração na superfície é determinada por uma análise de resposta sísmica usando as acelerações espectrais no basamento rochoso de 0,30g e 0,37g para eventos de 100 anos e 500 anos, respectivamente.
- A avaliação da liquefação das sondagens S-01, S-02 e S-03 será conduzida para diferentes níveis freáticos para simular diferentes alturas de níveis de solução dentro da pilha. Para as sondagens DH-01 à DH-05, a avaliação da liquefação considerará um nível freático hipotético de 5m já que o nível freático não foi reportado em campo.
- Foi utilizado o fator de correção por sobrecarga (K_σ) proposto por Idriss e Boulanger (2003) (equação 3.11 e apresentado na Figura 3.7) para contabilizar os efeitos de altas tensões efetivas por sobrecarga dentro da pilha.
- Os efeitos de tensão cisalhante estática (K_α) não foram considerados na análise ($K_\alpha=1,0$), devido a ainda controvérsia sobre dito parâmetro.

Para a cálculo do potencial de liquefação foi elaborada uma planilha em Excel com o método descrito no capítulo 3.1 e os resultados são apresentados nas Tabelas 5.10a até 5.10h.

5.3.3.

Conclusões da análise de potencial de liquefação

Observando os resultados das Tabelas 5.10a até 5.10h, a liquefação ocorrerá ao longo de todas as áreas saturadas da pilha de lixiviação, para sismos com 100 e 500 anos de período de retorno. Por tanto, uma análise de estabilidade de talude deverá ser realizada considerando para as zonas potencialmente liquificáveis, resistência residual não drenada do minério, para avaliar o fator de segurança pós-sismo da pilha.

Tabela 5.10a - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.30 g

Sondagem	: DH-01																								
Nível Freático (m)	: 5.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²M]			CORREÇÕES					Corr C.Finco			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razão Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C ₀	K ₀			
1.00	SC	1.60	20.9	50	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.26	1.63	0.75	1.00	0.75	1.00	45.9	4.63	50.5	--	--	--	--	--	No Licua	
2.00	SC	1.60	20.9	40	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.34	1.48	0.75	1.00	0.75	1.00	33.4	4.63	38.0	0.195	2.280	0.808	0.240	1.000	9.468	No Licua
3.00	SC	1.60	20.9	56	47.06	47.06	-0.13	0.02	0.99	0.29	1.24	0.75	1.00	0.80	1.00	41.7	4.63	46.4	--	--	--	--	--	No Licua	
4.00	SC	1.60	20.9	26	62.74	62.74	-0.20	0.02	0.99	0.44	1.23	0.75	1.00	0.85	1.00	20.3	4.63	25.0	0.193	0.289	0.808	0.135	1.000	1.211	No Licua
5.00	SC	1.60	25.0	37	78.42	78.42	-0.27	0.03	0.98	0.39	1.10	0.75	1.00	0.85	1.00	26.0	5.08	31.0	0.192	0.558	0.808	0.169	1.000	2.348	No Licua
6.00	SC	1.60	25.0	73	94.10	84.29	-0.34	0.04	0.98	0.22	1.04	0.75	1.00	0.95	1.00	54.0	5.08	59.1	--	--	--	--	--	No Licua	

Sondagem	: DH-02																								
Nível Freático (m)	: 5.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²M]			CORREÇÕES					Corr C.Finco			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razão Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C ₀	K ₀			
2.00	SC	1.60	23.1	18	31.39	31.39	-0.08	0.01	1.00	0.47	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	17.2	4.90	22.1	0.195	0.235	0.808	0.120	1.000	0.975	No Licua
3.00	SC	1.60	23.1	18	47.07	47.07	-0.13	0.02	0.99	0.48	1.44	0.75	1.00	0.80	1.00	15.5	4.90	20.4	0.194	0.211	0.808	0.113	1.000	0.881	No Licua
4.00	SC	1.60	23.1	17	62.75	62.75	-0.20	0.02	0.99	0.50	1.26	0.75	1.00	0.85	1.00	13.7	4.90	18.6	0.193	0.190	0.808	0.106	1.000	0.795	No Licua
5.00	SC	1.60	20.6	17	78.43	78.43	-0.27	0.03	0.98	0.51	1.13	0.75	1.00	0.85	1.00	12.3	4.59	16.9	0.192	0.173	0.808	0.100	1.000	0.727	Licua
6.00	SC	1.60	20.6	18	94.11	84.30	-0.34	0.04	0.98	0.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	14.0	4.59	18.5	0.213	0.189	0.808	0.107	1.000	0.718	Licua
7.00	SC	1.65	20.6	18	110.28	90.66	-0.42	0.05	0.97	0.50	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	13.5	4.59	18.1	0.231	0.184	0.808	0.105	1.000	0.646	Licua

Sondagem	: DH-03																								
Nível Freático (m)	: 5.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²M]			CORREÇÕES					Corr C.Finco			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razão Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C ₀	K ₀			
1.00	SC	1.60	24.1	54	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.25	1.59	0.75	1.00	0.75	1.00	48.3	5.00	53.3	--	--	--	--	--	No Licua	
2.00	SC	1.60	24.1	53	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.29	1.40	0.75	1.00	0.75	1.00	41.6	5.00	46.6	--	--	--	--	--	No Licua	
4.20	SC	1.60	24.1	39	65.87	65.87	-0.21	0.02	0.99	0.37	1.17	0.75	1.00	0.85	1.00	29.0	5.00	34.0	0.193	0.913	0.808	0.194	1.000	3.827	No Licua
5.00	SC	1.60	20.0	13	78.42	78.42	-0.27	0.03	0.98	0.55	1.14	0.75	1.00	0.85	1.00	9.5	4.49	14.0	0.192	0.148	0.808	0.090	1.000	0.622	Licua
6.00	SC	1.65	20.0	11	94.59	84.78	-0.34	0.04	0.98	0.56	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	8.6	4.49	13.1	0.213	0.141	0.808	0.088	1.000	0.534	Licua
7.00	SC	1.65	20.0	13	110.76	91.14	-0.42	0.05	0.97	0.54	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	9.7	4.49	14.2	0.231	0.150	0.808	0.091	1.000	0.525	Licua

Sondagem	: DH-04																								
Nível Freático (m)	: 5.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²M]			CORREÇÕES					Corr C.Finco			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razão Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C ₀	K ₀			
1.00	SC	1.60	21.2	26	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.40	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	24.9	4.67	29.5	0.195	0.457	0.808	0.162	1.000	1.893	No Licua
2.00	SC	1.60	21.2	14	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.50	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	13.4	4.67	18.1	0.195	0.184	0.808	0.104	1.000	0.765	No Licua
3.00	SC	1.60	21.2	12	47.06	47.06	-0.13	0.02	0.99	0.53	1.49	0.75	1.00	0.80	1.00	10.8	4.67	15.4	0.194	0.160	0.808	0.095	1.000	0.666	No Licua
4.00	SC	1.60	21.2	13	62.74	62.74	-0.20	0.02	0.99	0.53	1.28	0.75	1.00	0.85	1.00	10.6	4.67	15.3	0.193	0.159	0.808	0.094	1.000	0.665	No Licua
5.00	SC	1.65	17.7	10	78.91	78.91	-0.27	0.03	0.98	0.58	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	7.3	4.04	11.4	0.192	0.128	0.808	0.083	1.000	0.538	Licua
6.00	SC	1.65	17.7	8	95.08	85.27	-0.34	0.04	0.98	0.59	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	6.3	4.04	10.3	0.213	0.120	0.808	0.080	1.000	0.457	Licua
7.00	SC	1.65	17.7	11	111.25	91.63	-0.42	0.05	0.97	0.56	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	8.2	4.04	12.3	0.230	0.135	0.808	0.086	1.000	0.472	Licua

Sondagem	: DH-05																								
Nível Freático (m)	: 5.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²M]			CORREÇÕES					Corr C.Finco			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razão Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C ₀	K ₀			
1.00	SC	1.60	21.1	11	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	4.66	15.2	0.195	0.158	0.808	0.094	1.000	0.652	No Licua
2.00	SC	1.60	21.1	13	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.51	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	12.4	4.66	17.1	0.195	0.175	0.808	0.101	1.000	0.726	No Licua
3.00	SC	1.60	21.1	13	47.06	47.06	-0.13	0.02	0.99	0.52	1.48	0.75	1.00	0.80	1.00	11.6	4.66	16.2	0.194	0.167	0.808	0.098	1.000	0.696	No Licua
4.00	SC	1.60	21.2	12	62.74	62.74	-0.20	0.02	0.99	0.54	1.29	0.75	1.00	0.85	1.00	9.9	4.66	14.5	0.193	0.152	0.808	0.092	1.000	0.637	No Licua
5.00	SC	1.60	21.1	13	78.42	78.42	-0.27	0.03	0.98	0.55	1.14	0.75	1.00	0.85	1.00	9.5	4.66	14.1	0.192	0.149	0.808	0.090	1.000	0.627	Licua
6.00	SC	1.65	21.1	18	94.59	84.78	-0.34	0.04	0.98	0.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	13.9	4.66	18.6	0.213	0.190	0.808	0.107	1.000	0.720	Licua
7.00	SC	1.65	21.1	17	110.76	91.14	-0.42	0.05	0.97	0.51	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	12.7	4.66	17.4	0.231	0.177	0.808	0.102	1.000	0.622	Licua
8.00	SM	1.65	17.3	16	126.93	97.50	-0.50	0.06	0.97	0.52	1.01	0.75	1.00	0.95	1.00	11.6	3.95	15.5	0.245	0.160	0.808	0.098	1.000	0.528	Licua
9.00	SM	1.65	17.3	17	143.10	103.86	-0.59	0.07	0.96	0.52	0.98	0.75	1.00	0.95	1.00	11.9	3.95	15.8	0.258	0.163	0.808	0.099	0.996	0.510	Licua
10.00	SM	1.65	17.3	13	159.27	110.22	-0.68	0.08	0.95	0.55	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	3.95	13.2	0.268	0.142	0.808	0.090	0.991	0.422	Licua
11.00	SM	1.65	17.3	18	175.44	116.58	-0.77	0.09	0.94	0.51	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	12.5	3.95	16.4	0.277	0.169	0.808	0.101	0.984	0.484	Licua
12.00	SM	1.65	17.3	26	191.61	122.94	-0.87	0.10	0.94	0.46	0.91	0.75	1.00	1.00	1.00	17.7	3.95	21.7	0.285	0.228	0.808	0.123	0.975	0.631	Licua

Tabela 5.10b - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.37 g

Sondagem		: DH-01																							
Nível Freático (m)		: 5.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²]M			CORREÇÕES					Corr C.Fínos			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _a = 1-C _a ·Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _a	K _a			
1.00	SC	1.60	20.9	50	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.26	1.63	0.75	1.00	0.75	1.00	45.9	4.63	50.5	-	-	-	-	-	-	No Licua
2.00	SC	1.60	20.9	40	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.34	1.48	0.75	1.00	0.75	1.00	33.4	4.63	38.0	0.240	2.280	0.808	0.240	1.000	7.676	No Licua
3.00	SC	1.60	20.9	56	47.06	47.06	-0.13	0.02	0.99	0.29	1.24	0.75	1.00	0.80	1.00	41.7	4.63	46.4	-	-	-	-	-	-	No Licua
4.00	SC	1.60	20.9	26	62.74	62.74	-0.20	0.02	0.99	0.44	1.23	0.75	1.00	0.85	1.00	20.3	4.63	25.0	0.238	0.289	0.808	0.135	1.000	0.982	No Licua
5.00	SC	1.60	25.0	37	78.42	78.42	-0.27	0.03	0.98	0.39	1.10	0.75	1.00	0.85	1.00	26.0	5.08	31.0	0.237	0.558	0.808	0.169	1.000	1.904	No Licua
6.00	SC	1.60	25.0	73	94.10	84.29	-0.34	0.04	0.98	0.22	1.04	0.75	1.00	0.95	1.00	54.0	5.08	59.1	-	-	-	-	-	-	No Licua

Sondagem		: DH-02																							
Nível Freático (m)		: 5.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²]M			CORREÇÕES					Corr C.Fínos			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _a = 1-C _a ·Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _a	K _a			
2.00	SC	1.60	23.1	18	31.39	31.39	-0.08	0.01	1.00	0.47	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	17.2	4.90	22.1	0.240	0.235	0.808	0.120	1.000	0.791	No Licua
3.00	SC	1.60	23.1	18	47.07	47.07	-0.13	0.02	0.99	0.48	1.44	0.75	1.00	0.80	1.00	15.5	4.90	20.4	0.239	0.211	0.808	0.113	1.000	0.714	No Licua
4.00	SC	1.60	23.1	17	62.75	62.75	-0.20	0.02	0.99	0.50	1.26	0.75	1.00	0.85	1.00	13.7	4.90	18.6	0.238	0.190	0.808	0.106	1.000	0.645	No Licua
5.00	SC	1.60	20.6	17	78.43	78.43	-0.27	0.03	0.98	0.51	1.13	0.75	1.00	0.85	1.00	12.3	4.59	16.9	0.237	0.173	0.808	0.100	1.000	0.590	Licua
6.00	SC	1.60	20.6	18	94.11	84.30	-0.34	0.04	0.98	0.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	14.0	4.59	18.5	0.263	0.189	0.808	0.107	1.000	0.583	Licua
7.00	SC	1.65	20.6	18	110.28	90.66	-0.42	0.05	0.97	0.50	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	13.5	4.59	18.1	0.285	0.184	0.808	0.105	1.000	0.523	Licua

Sondagem		: DH-03																							
Nível Freático (m)		: 5.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²]M			CORREÇÕES					Corr C.Fínos			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _a = 1-C _a ·Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _a	K _a			
1.00	SC	1.60	24.1	54	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.25	1.59	0.75	1.00	0.75	1.00	48.3	5.00	53.3	-	-	-	-	-	-	No Licua
2.00	SC	1.60	24.1	53	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.29	1.40	0.75	1.00	0.75	1.00	41.6	5.00	46.6	-	-	-	-	-	-	No Licua
4.00	SC	1.60	24.1	39	65.87	65.87	-0.21	0.02	0.99	0.37	1.17	0.75	1.00	0.85	1.00	29.0	5.00	34.0	0.238	0.913	0.808	0.194	1.000	3.103	No Licua
5.00	SC	1.60	20.0	13	78.42	78.42	-0.27	0.03	0.98	0.55	1.14	0.75	1.00	0.85	1.00	9.5	4.49	14.0	0.237	0.148	0.808	0.090	1.000	0.504	Licua
6.00	SC	1.65	20.0	11	94.59	84.78	-0.34	0.04	0.98	0.56	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	8.6	4.49	13.1	0.263	0.141	0.808	0.088	1.000	0.433	Licua
7.00	SC	1.65	20.0	13	110.76	91.14	-0.42	0.05	0.97	0.54	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	9.7	4.49	14.2	0.284	0.150	0.808	0.091	1.000	0.426	Licua

Sondagem		: DH-04																							
Nível Freático (m)		: 5.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²]M			CORREÇÕES					Corr C.Fínos			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _a = 1-C _a ·Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _a	K _a			
1.00	SC	1.60	21.2	26	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.40	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	24.9	4.67	29.5	0.241	0.457	0.808	0.162	1.000	1.534	No Licua
2.00	SC	1.60	21.2	14	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.50	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	13.4	4.67	18.1	0.240	0.184	0.808	0.104	1.000	0.621	No Licua
3.00	SC	1.60	21.2	12	47.06	47.06	-0.13	0.02	0.99	0.53	1.49	0.75	1.00	0.80	1.00	10.8	4.67	15.4	0.239	0.160	0.808	0.095	1.000	0.540	No Licua
4.00	SC	1.60	21.2	13	62.74	62.74	-0.20	0.02	0.99	0.53	1.28	0.75	1.00	0.85	1.00	10.6	4.67	15.3	0.238	0.159	0.808	0.094	1.000	0.539	No Licua
5.00	SC	1.65	17.7	10	78.91	78.91	-0.27	0.03	0.98	0.58	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	7.3	4.04	11.4	0.237	0.128	0.808	0.083	1.000	0.436	Licua
6.00	SC	1.65	17.7	8	95.08	85.27	-0.34	0.04	0.98	0.59	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	6.3	4.04	10.3	0.262	0.120	0.808	0.080	1.000	0.370	Licua
7.00	SC	1.65	17.7	11	111.25	91.63	-0.42	0.05	0.97	0.56	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	8.2	4.04	12.3	0.284	0.135	0.808	0.086	1.000	0.383	Licua

Sondagem		: DH-05																							
Nível Freático (m)		: 5.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)²]M			CORREÇÕES					Corr C.Fínos			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _a = 1-C _a ·Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Díam Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _a	K _a			
1.00	SC	1.60	21.1	11	15.70	15.70	-0.03	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	4.66	15.2	0.241	0.158	0.808	0.094	1.000	0.529	No Licua
2.00	SC	1.60	21.1	13	31.38	31.38	-0.08	0.01	1.00	0.51	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	12.4	4.66	17.1	0.240	0.175	0.808	0.101	1.000	0.588	No Licua
3.00	SC	1.60	21.1	13	47.06	47.06	-0.13	0.02	0.99	0.52	1.48	0.75	1.00	0.80	1.00	11.6	4.66	16.2	0.239	0.167	0.808	0.098	1.000	0.564	No Licua
4.00	SC	1.60	21.1	12	62.74	62.74	-0.20	0.02	0.99	0.54	1.29	0.75	1.00	0.85	1.00	9.9	4.66	14.5	0.238	0.152	0.808	0.092	1.000	0.517	No Licua
5.00	SC	1.60	21.1	13	78.42	78.42	-0.27	0.03	0.98	0.55	1.14	0.75	1.00	0.85	1.00	9.5	4.66	14.1	0.237	0.149	0.808	0.090	1.000	0.509	Licua
6.00	SC	1.65	21.1	18	94.59	84.78	-0.34	0.04	0.98	0.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	13.9	4.66	18.6	0.263	0.190	0.808	0.107	1.000	0.584	Licua
7.00	SC	1.65	21.1	17	110.76	91.14	-0.42	0.05	0.97	0.51	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	12.7	4.66	17.4	0.284	0.177	0.808	0.102	1.000	0.504	Licua
8.00	SM	1.65	17.3	16	126.93	97.50	-0.50	0.06	0.97	0.52	1.01	0.75	1.00	0.95	1.00	11.6	3.95	15.5	0.303	0.160	0.808	0.098	1.000	0.428	Licua
9.00	SM	1.65	17.3	17	143.10	103.86	-0.59	0.07	0.96	0.52	0.98	0.75	1.00	0.95	1.00	11.9	3.95	15.8	0.318	0.163	0.808	0.099	0.996	0.413	Licua
10.00	SM	1.65	17.3	13	159.27	110.22	-0.68	0.08	0.95	0.55	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	3.95	13.2	0.331	0.142	0.808	0.090	0.991	0.343	Licua
11.00	SM	1.65	17.3	18	175.44	116.58	-0.77	0.09	0.94	0.51	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	12.5	3.95	16.4	0.342	0.169	0.808	0.101	0.984	0.392	Licua
12.00	SM	1.65	17.3	26	191.61	122.94	-0.87	0.10	0.94	0.46	0.91	0.75	1.00	1.00	1.00	17.7	3.95	21.7	0.351	0.228	0.808	0.123	0.975	0.512	Licua

Tabela 5.10c - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.30 g

Sondagem		: S-01																							
Nível Freático (m)		: 0.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C ₀			K ₀
										m	C _N														
0.50	SM	1.65	21.00	5.0	8.09	3.19	0.00	0.00	1.00	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.497	0.114	0.808	0.075	1.000	0.186	Licua
3.00	SM	1.65	21.20	6.0	48.52	19.09	-0.13	0.02	0.99	0.59	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	6.1	4.67	10.8	0.493	0.124	0.808	0.079	1.000	0.203	Licua
5.50	SM	1.65	19.60	11.0	88.94	34.99	-0.30	0.03	0.98	0.52	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	11.9	4.42	16.3	0.487	0.168	0.808	0.099	1.000	0.279	Licua
8.00	SM	1.65	21.00	12.0	129.37	50.89	-0.50	0.06	0.97	0.52	1.42	0.75	1.00	0.95	1.00	12.1	4.65	16.8	0.479	0.172	0.808	0.100	1.000	0.290	Licua
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	169.79	66.79	-0.73	0.08	0.95	0.54	1.24	0.75	1.00	1.00	1.00	10.3	3.26	13.5	0.470	0.144	0.808	0.093	1.000	0.247	Licua
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	210.22	82.69	-0.96	0.11	0.93	0.52	1.10	0.75	1.00	1.00	1.00	11.6	2.25	13.8	0.460	0.147	0.808	0.098	1.000	0.257	Licua
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	250.64	98.59	-1.20	0.13	0.91	0.47	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	16.6	5.40	22.0	0.449	0.233	0.808	0.118	1.000	0.419	Licua
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	291.07	114.49	-1.43	0.16	0.88	0.53	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	0.00	11.2	0.438	0.126	0.808	0.096	0.987	0.230	Licua
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	331.49	130.39	-1.65	0.18	0.86	0.58	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	7.1	3.36	10.4	0.426	0.121	0.808	0.083	0.978	0.225	Licua
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	371.92	146.29	-1.83	0.20	0.83	0.56	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	2.98	11.5	0.413	0.128	0.808	0.087	0.967	0.243	Licua
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	412.34	162.19	-1.97	0.21	0.81	0.55	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	2.75	11.9	0.401	0.132	0.808	0.090	0.957	0.255	Licua
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	469.43	194.75	-2.08	0.22	0.78	0.54	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	9.9	2.90	12.8	0.369	0.139	0.808	0.092	0.939	0.285	Licua
Sondagem		: S-02																							
Nível Freático (m)		: 0.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C ₀			K ₀
										m	C _N														
2.50	SM	1.65	16.70	8.0	40.47	15.94	-0.10	0.01	1.00	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.493	0.128	0.808	0.084	1.000	0.210	Licua
5.00	SM	1.65	21.60	11.0	80.89	31.84	-0.27	0.03	0.98	0.52	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	11.9	4.73	16.6	0.488	0.171	0.808	0.099	1.000	0.283	Licua
7.50	SM	1.65	17.00	11.0	121.32	47.74	-0.46	0.05	0.97	0.52	1.47	0.75	1.00	0.95	1.00	11.5	3.87	15.4	0.481	0.160	0.808	0.098	1.000	0.269	Licua
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	161.74	63.64	-0.68	0.08	0.95	0.51	1.26	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	4.32	16.6	0.472	0.170	0.808	0.100	1.000	0.292	Licua
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	202.17	79.54	-0.92	0.10	0.93	0.50	1.12	0.75	1.00	1.00	1.00	13.5	4.37	17.8	0.462	0.182	0.808	0.105	1.000	0.318	Licua
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	242.59	95.44	-1.16	0.13	0.91	0.51	1.02	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	2.46	14.8	0.452	0.154	0.808	0.100	1.000	0.276	Licua
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	283.02	111.34	-1.39	0.15	0.89	0.52	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	12.1	3.74	15.8	0.440	0.163	0.808	0.100	0.989	0.296	Licua
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	323.44	127.24	-1.61	0.18	0.86	0.56	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	2.79	11.3	0.428	0.127	0.808	0.087	0.979	0.235	Licua
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	363.87	143.14	-1.79	0.19	0.84	0.45	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	18.5	5.46	23.9	0.416	0.267	0.808	0.126	0.955	0.496	Licua
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	404.29	159.04	-1.95	0.21	0.81	0.55	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	9.3	5.21	14.5	0.403	0.152	0.808	0.090	0.958	0.292	Licua
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	444.72	174.94	-2.06	0.22	0.79	0.49	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	14.2	3.45	17.7	0.391	0.180	0.808	0.108	0.940	0.350	Licua
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	501.80	207.50	-2.12	0.22	0.77	0.50	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	14.1	2.94	17.0	0.362	0.174	0.808	0.107	0.922	0.359	Licua
Sondagem		: S-03																							
Nível Freático (m)		: 0.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C ₀ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C ₀			K ₀
										m	C _N														
0.50	SM	1.65	0.50	11.0	8.09	3.19	0.00	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.497	0.122	0.808	0.094	1.000	0.198	Licua
3.00	SM	1.65	22.80	8.0	48.52	19.09	-0.13	0.02	0.99	0.56	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	8.2	4.87	13.0	0.493	0.140	0.808	0.086	1.000	0.230	Licua
5.50	SM	1.65	22.20	9.0	88.94	34.99	-0.30	0.03	0.98	0.54	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	9.8	4.80	14.6	0.487	0.152	0.808	0.091	1.000	0.253	Licua
8.00	SM	1.65	12.80	11.0	129.37	50.89	-0.50	0.06	0.97	0.53	1.43	0.75	1.00	0.95	1.00	11.2	2.46	13.7	0.479	0.145	0.808	0.096	1.000	0.245	Licua
10.50	SM	1.65	15.00	18.0	169.79	66.79	-0.73	0.08	0.95	0.47	1.21	0.75	1.00	1.00	1.00	16.3	3.29	19.6	0.470	0.201	0.808	0.116	1.000	0.346	Licua
13.00	SM	1.65	16.90	17.0	210.22	82.69	-0.96	0.11	0.93	0.50	1.10	0.75	1.00	1.00	1.00	14.0	3.85	17.9	0.460	0.182	0.808	0.107	1.000	0.320	Licua
15.50	SM	1.65	14.70	20.0	250.64	98.59	-1.20	0.13	0.91	0.49	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	15.1	3.19	18.3	0.449	0.187	0.808	0.111	1.000	0.336	Licua
18.00	SM	1.65	13.90	16.0	291.07	114.49	-1.43	0.16	0.88	0.53	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	2.90	14.1	0.438	0.149	0.808	0.096	0.987	0.271	Licua
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	331.49	130.39	-1.65	0.18	0.86	0.52	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	11.8	4.73	16.5	0.426	0.169	0.808	0.098	0.974	0.313	Licua
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	371.92	146.29	-1.83	0.20	0.83	0.51	0.82	0.75	1.00	1.00	1.00	13.0	3.69	16.7	0.413	0.171	0.808	0.103	0.961	0.321	Licua
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	412.34	162.19	-1.97	0.21	0.81	0.51	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	12.9	2.16	15.1	0.401	0.157	0.808	0.103	0.950	0.300	Licua
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	452.77	178.09	-2.08	0.22	0.78	0.52	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	11.7	2.63	14.3	0.389	0.150	0.808	0.098	0.943	0.294	Licua
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	509.85	210.65	-2.13	0.22	0.76	0.52	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	3.63	15.9	0.360	0.164	0.808	0.100	0.925	0.340	Licua

Tabela 5.10d - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.30 g

Sondagem	: S-01																								
Nível Freático (m)	: 10.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ _v ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ _v '/P _a)		F S L	Observ	
										Press Sobrecarr		Razã Energ	Diã Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
							α(z)	β(z)	r _d	m	C _N												C _E		
0.50	SM	1.60	21.00	5.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.196	0.114	0.808	0.075	1.000	0.471	No Licua
3.00	SM	1.60	21.20	6.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.60	1.57	0.75	1.00	0.80	1.00	5.7	4.67	10.3	0.194	0.120	0.808	0.078	1.000	0.502	No Licua
5.50	SM	1.60	19.60	11.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.57	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	7.6	4.42	12.1	0.191	0.133	0.808	0.084	1.000	0.561	No Licua
8.00	SM	1.60	21.00	12.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.57	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	7.5	4.65	12.2	0.188	0.134	0.808	0.084	0.981	0.562	No Licua
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	165.87	160.97	-0.73	0.08	0.95	0.59	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	6.2	3.26	9.5	0.191	0.114	0.808	0.080	0.962	0.467	Licua
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	206.30	176.87	-0.96	0.11	0.93	0.57	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	7.6	2.25	9.8	0.211	0.117	0.808	0.084	0.952	0.426	Licua
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	246.72	192.77	-1.20	0.13	0.91	0.52	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	11.7	5.40	17.1	0.226	0.175	0.808	0.098	0.935	0.585	Licua
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	287.15	208.67	-1.43	0.16	0.88	0.57	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	7.9	0.00	7.9	0.237	0.104	0.808	0.085	0.937	0.332	Licua
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	327.57	224.57	-1.65	0.18	0.86	0.61	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	5.0	3.36	8.4	0.244	0.107	0.808	0.076	0.939	0.333	Licua
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	368.00	240.47	-1.83	0.20	0.83	0.59	0.59	0.75	1.00	1.00	1.00	6.2	2.98	9.2	0.249	0.113	0.808	0.080	0.930	0.341	Licua
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	408.42	256.37	-1.97	0.21	0.81	0.58	0.58	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.75	9.7	0.251	0.116	0.808	0.082	0.923	0.344	Licua
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	465.51	288.93	-2.08	0.22	0.78	0.57	0.55	0.75	1.00	1.00	1.00	7.8	2.90	10.7	0.247	0.123	0.808	0.085	0.910	0.367	Licua

Sondagem	: S-02																								
Nível Freático (m)	: 10.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ _v ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ _v '/P _a)		F S L	Observ	
										Press Sobrecarr		Razã Energ	Diã Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
							α(z)	β(z)	r _d	m	C _N												C _E		
2.50	SM	1.60	16.70	8.0	39.24	39.24	-0.10	0.01	1.00	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.194	0.128	0.808	0.084	1.000	0.534	No Licua
5.00	SM	1.60	21.60	11.0	78.44	78.44	-0.27	0.03	0.98	0.57	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	8.0	4.73	12.8	0.192	0.138	0.808	0.086	1.000	0.582	No Licua
7.50	SM	1.60	17.00	11.0	117.64	117.64	-0.46	0.05	0.97	0.58	0.91	0.75	1.00	0.95	1.00	7.1	3.87	11.0	0.189	0.125	0.808	0.083	0.987	0.528	No Licua
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	158.07	158.07	-0.68	0.08	0.95	0.57	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	4.32	11.8	0.186	0.131	0.808	0.084	0.962	0.549	Licua
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	198.49	173.97	-0.92	0.10	0.93	0.56	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	8.8	4.37	13.2	0.208	0.142	0.808	0.088	0.951	0.524	Licua
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	238.92	189.87	-1.16	0.13	0.91	0.56	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	8.4	2.46	10.8	0.224	0.124	0.808	0.087	0.944	0.423	Licua
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	279.34	205.77	-1.39	0.15	0.89	0.56	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	3.74	12.3	0.235	0.134	0.808	0.087	0.937	0.433	Licua
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	319.77	221.67	-1.61	0.18	0.86	0.59	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	6.1	2.79	8.9	0.243	0.110	0.808	0.079	0.937	0.344	Licua
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	360.19	237.57	-1.79	0.19	0.84	0.49	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	14.2	5.46	19.6	0.248	0.201	0.808	0.108	0.907	0.596	Licua
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	400.62	253.47	-1.95	0.21	0.81	0.58	0.58	0.75	1.00	1.00	1.00	7.0	5.21	12.2	0.251	0.134	0.808	0.082	0.924	0.399	Licua
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	441.04	269.37	-2.06	0.22	0.79	0.53	0.59	0.75	1.00	1.00	1.00	11.1	3.45	14.6	0.252	0.152	0.808	0.096	0.905	0.442	Licua
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	498.13	301.93	-2.12	0.22	0.77	0.53	0.56	0.75	1.00	1.00	1.00	11.3	2.94	14.3	0.247	0.150	0.808	0.097	0.893	0.439	Licua

Sondagem	: S-03																								
Nível Freático (m)	: 10.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ _v ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ _v '/P _a)		F S L	Observ	
										Press Sobrecarr		Razã Energ	Diã Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
							α(z)	β(z)	r _d	m	C _N												C _E		
0.50	SM	1.60	0.50	11.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.196	0.122	0.808	0.094	1.000	0.503	No Licua
3.00	SM	1.60	22.80	8.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.58	1.54	0.75	1.00	0.80	1.00	7.4	4.87	12.3	0.194	0.135	0.808	0.084	1.000	0.561	No Licua
5.50	SM	1.60	22.20	9.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.59	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	6.3	4.80	11.1	0.191	0.126	0.808	0.080	1.000	0.530	No Licua
8.00	SM	1.60	12.80	11.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.58	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	6.9	2.46	9.3	0.188	0.113	0.808	0.082	0.981	0.478	No Licua
10.50	SM	1.65	15.00	18.0	165.87	160.97	-0.73	0.08	0.95	0.54	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	10.5	3.29	13.8	0.191	0.146	0.808	0.094	0.955	0.591	Licua
13.00	SM	1.65	16.90	17.0	206.30	176.87	-0.96	0.11	0.93	0.55	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	9.3	3.85	13.2	0.211	0.141	0.808	0.090	0.949	0.513	Licua
15.50	SM	1.65	14.70	20.0	246.72	192.77	-1.20	0.13	0.91	0.53	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	10.6	3.19	13.8	0.226	0.146	0.808	0.094	0.938	0.489	Licua
18.00	SM	1.65	13.90	16.0	287.15	208.67	-1.43	0.16	0.88	0.57	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	7.9	2.90	10.8	0.237	0.124	0.808	0.085	0.937	0.396	Licua
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	327.57	224.57	-1.65	0.18	0.86	0.56	0.64	0.75	1.00	1.00	1.00	8.6	4.73	13.3	0.244	0.142	0.808	0.088	0.929	0.438	Licua
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	368.00	240.47	-1.83	0.20	0.83	0.54	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	9.8	3.69	13.5	0.249	0.144	0.808	0.092	0.920	0.429	Licua
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	408.42	256.37	-1.97	0.21	0.81	0.54	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	9.9	2.16	12.1	0.251	0.133	0.808	0.092	0.913	0.391	Licua
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	448.85	272.27	-2.08	0.22	0.78	0.55	0.57	0.75	1.00	1.00	1.00	9.1	2.63	11.7	0.252	0.130	0.808	0.089	0.911	0.380	Licua
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	505.93	304.83	-2.13	0.22	0.76	0.54	0.55	0.75	1.00	1.00	1.00	9.8	3.63	13.5	0.247	0.144	0.808	0.092	0.898	0.422	Licua

Tabela 5.10e - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.30 g

Sondagem		: S-01																							
Nível Freático (m)		: 25.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ.	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
										m	C _N														
0.50	SM	1.60	21.00	5.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.196	0.114	0.808	0.075	1.000	0.471	No Licua
3.00	SM	1.60	21.20	6.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.60	1.57	0.75	1.00	0.80	1.00	5.7	4.67	10.3	0.194	0.120	0.808	0.078	1.000	0.502	No Licua
5.50	SM	1.60	19.60	11.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.57	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	7.6	4.42	12.1	0.191	0.133	0.808	0.084	1.000	0.561	No Licua
8.00	SM	1.60	21.00	12.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.57	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	7.5	4.65	12.2	0.188	0.134	0.808	0.084	0.981	0.562	No Licua
10.50	SM	1.60	14.90	11.0	164.65	164.65	-0.73	0.08	0.95	0.59	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	6.1	3.26	9.4	0.185	0.114	0.808	0.079	0.960	0.478	No Licua
13.00	SM	1.60	12.30	14.0	203.85	203.85	-0.96	0.11	0.93	0.58	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.25	9.2	0.181	0.112	0.808	0.082	0.942	0.473	No Licua
15.50	SM	1.60	30.80	22.0	243.05	243.05	-1.20	0.13	0.91	0.54	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	10.2	5.40	15.6	0.177	0.161	0.808	0.093	0.917	0.677	No Licua
18.00	SP	1.60	2.40	16.0	282.25	282.25	-1.43	0.16	0.88	0.59	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	6.5	0.00	6.5	0.172	0.095	0.808	0.081	0.916	0.410	No Licua
20.50	SM	1.60	15.20	11.0	321.45	321.45	-1.65	0.18	0.86	0.63	0.48	0.75	1.00	1.00	1.00	3.9	3.36	7.3	0.167	0.100	0.808	0.072	0.916	0.443	No Licua
23.00	SM	1.60	14.10	14.0	360.65	360.65	-1.83	0.20	0.83	0.62	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	4.8	2.98	7.7	0.162	0.103	0.808	0.075	0.904	0.463	No Licua
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	401.07	396.17	-1.97	0.21	0.81	0.61	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	5.2	2.75	7.9	0.160	0.104	0.808	0.076	0.895	0.472	Licua
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	458.16	428.73	-2.08	0.22	0.78	0.60	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	6.0	2.90	8.9	0.164	0.110	0.808	0.079	0.885	0.483	Licua

Sondagem		: S-02																							
Nível Freático (m)		: 25.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ.	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
										m	C _N														
2.50	SM	1.60	16.70	8.0	39.24	39.24	-0.10	0.01	1.00	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.194	0.128	0.808	0.084	1.000	0.534	No Licua
5.00	SM	1.60	21.60	11.0	78.44	78.44	-0.27	0.03	0.98	0.57	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	8.0	4.73	12.8	0.192	0.138	0.808	0.086	1.000	0.582	No Licua
7.50	SM	1.60	17.00	11.0	117.64	117.64	-0.46	0.05	0.97	0.58	0.91	0.75	1.00	0.95	1.00	7.1	3.87	11.0	0.189	0.125	0.808	0.083	0.987	0.528	No Licua
10.00	SM	1.60	19.00	13.0	156.84	156.84	-0.68	0.08	0.95	0.57	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	4.32	11.8	0.186	0.131	0.808	0.084	0.962	0.550	No Licua
12.50	SM	1.60	19.30	16.0	196.04	196.04	-0.92	0.10	0.93	0.56	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	8.2	4.37	12.6	0.182	0.137	0.808	0.086	0.942	0.573	No Licua
15.00	SM	1.60	12.80	16.0	235.24	235.24	-1.16	0.13	0.91	0.58	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	7.3	2.46	9.8	0.178	0.117	0.808	0.083	0.929	0.493	No Licua
17.50	SM	1.60	16.50	17.0	274.44	274.44	-1.39	0.15	0.89	0.58	0.56	0.75	1.00	1.00	1.00	7.1	3.74	10.8	0.173	0.124	0.808	0.083	0.917	0.531	No Licua
20.00	SM	1.60	13.60	13.0	313.64	313.64	-1.61	0.18	0.86	0.62	0.49	0.75	1.00	1.00	1.00	4.8	2.79	7.6	0.168	0.102	0.808	0.075	0.914	0.448	No Licua
22.50	SM	1.60	32.90	29.0	352.84	352.84	-1.79	0.19	0.84	0.53	0.51	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	5.46	16.7	0.163	0.171	0.808	0.096	0.878	0.741	No Licua
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	393.27	393.27	-1.95	0.21	0.81	0.61	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	5.2	5.21	10.4	0.159	0.121	0.808	0.076	0.895	0.552	Licua
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	433.69	409.17	-2.06	0.22	0.79	0.56	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	3.45	12.0	0.163	0.132	0.808	0.087	0.877	0.575	Licua
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	490.78	441.73	-2.12	0.22	0.77	0.56	0.44	0.75	1.00	1.00	1.00	8.9	2.94	11.8	0.166	0.131	0.808	0.088	0.869	0.554	Licua

Sondagem		: S-03																							
Nível Freático (m)		: 25.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ.	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
										m	C _N														
0.50	SM	1.60	0.50	11.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.196	0.122	0.808	0.094	1.000	0.503	No Licua
3.00	SM	1.60	0.50	8.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.58	1.54	0.75	1.00	0.80	1.00	7.4	4.87	12.3	0.194	0.135	0.808	0.084	1.000	0.561	No Licua
5.50	SM	1.60	22.20	9.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.59	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	6.3	4.80	11.1	0.191	0.126	0.808	0.080	1.000	0.530	No Licua
8.00	SM	1.60	12.80	11.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.58	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	6.9	2.46	9.3	0.188	0.113	0.808	0.082	0.981	0.478	No Licua
10.50	SM	1.60	15.00	18.0	164.65	164.65	-0.73	0.08	0.95	0.54	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	10.3	3.29	13.6	0.185	0.145	0.808	0.093	0.953	0.603	No Licua
13.00	SM	1.60	16.90	17.0	203.85	203.85	-0.96	0.11	0.93	0.56	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	8.6	3.85	12.4	0.181	0.136	0.808	0.087	0.938	0.567	No Licua
15.50	SM	1.60	14.70	20.0	243.05	243.05	-1.20	0.13	0.91	0.55	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	3.19	12.4	0.177	0.135	0.808	0.090	0.920	0.570	No Licua
18.00	SM	1.60	13.90	16.0	282.25	282.25	-1.43	0.16	0.88	0.59	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	6.5	2.90	9.4	0.172	0.114	0.808	0.081	0.916	0.491	No Licua
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	322.67	322.67	-1.65	0.18	0.86	0.58	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	6.8	4.73	11.5	0.167	0.129	0.808	0.082	0.904	0.564	No Licua
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	363.10	363.10	-1.83	0.20	0.83	0.57	0.48	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	3.69	11.2	0.162	0.127	0.808	0.084	0.892	0.562	No Licua
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	403.52	398.62	-1.97	0.21	0.81	0.57	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	2.16	9.6	0.160	0.115	0.808	0.084	0.884	0.517	Licua
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	443.95	414.52	-2.08	0.22	0.78	0.58	0.44	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.63	9.5	0.164	0.115	0.808	0.082	0.884	0.500	Licua
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	501.03	447.08	-2.13	0.22	0.76	0.57	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	7.6	3.63	11.3	0.167	0.127	0.808	0.084	0.874	0.539	Licua

Tabela 5.10f - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.37 g

Sondagem		: S-01																							
Nível Freático (m)		: 0.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diã Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
										m	C _N														
0.50	SM	1.65	21.00	5.0	8.09	3.19	0.00	0.00	1.00	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.613	0.114	0.808	0.075	1.000	0.151	Licua
3.00	SM	1.65	21.20	6.0	48.52	19.09	-0.13	0.02	0.99	0.59	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	6.1	4.67	10.8	0.608	0.124	0.808	0.079	1.000	0.165	Licua
5.50	SM	1.65	19.60	11.0	88.94	34.99	-0.30	0.03	0.98	0.52	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	11.9	4.42	16.3	0.600	0.168	0.808	0.099	1.000	0.226	Licua
8.00	SM	1.65	21.00	12.0	129.37	50.89	-0.50	0.06	0.97	0.52	1.42	0.75	1.00	0.95	1.00	12.1	4.65	16.8	0.591	0.172	0.808	0.100	1.000	0.235	Licua
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	169.79	66.79	-0.73	0.08	0.95	0.54	1.24	0.75	1.00	1.00	1.00	10.3	3.26	13.5	0.580	0.144	0.808	0.093	1.000	0.201	Licua
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	210.22	82.69	-0.96	0.11	0.93	0.52	1.10	0.75	1.00	1.00	1.00	11.6	2.25	13.8	0.568	0.147	0.808	0.098	1.000	0.209	Licua
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	250.64	98.59	-1.20	0.13	0.91	0.47	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	16.6	5.40	22.0	0.554	0.233	0.808	0.118	1.000	0.340	Licua
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	291.07	114.49	-1.43	0.16	0.88	0.53	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	0.00	11.2	0.540	0.126	0.808	0.096	0.987	0.187	Licua
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	331.49	130.39	-1.65	0.18	0.86	0.58	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	7.1	3.36	10.4	0.525	0.121	0.808	0.083	0.978	0.182	Licua
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	371.92	146.29	-1.83	0.20	0.83	0.56	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	2.98	11.5	0.510	0.128	0.808	0.087	0.967	0.197	Licua
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	412.34	162.19	-1.97	0.21	0.81	0.55	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	2.75	11.9	0.494	0.132	0.808	0.090	0.957	0.206	Licua
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	469.43	194.75	-2.08	0.22	0.78	0.54	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	9.9	2.90	12.8	0.455	0.139	0.808	0.092	0.939	0.231	Licua
Sondagem		: S-02																							
Nível Freático (m)		: 0.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diã Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
										m	C _N														
2.50	SM	1.65	16.70	8.0	40.47	15.94	-0.10	0.01	1.00	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.608	0.128	0.808	0.084	1.000	0.171	Licua
5.00	SM	1.65	21.60	11.0	80.89	31.84	-0.27	0.03	0.98	0.52	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	11.9	4.73	16.6	0.601	0.171	0.808	0.099	1.000	0.229	Licua
7.50	SM	1.65	17.00	11.0	121.32	47.74	-0.46	0.05	0.97	0.52	1.47	0.75	1.00	0.95	1.00	11.5	3.87	15.4	0.593	0.160	0.808	0.098	1.000	0.218	Licua
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	161.74	63.64	-0.68	0.08	0.95	0.51	1.26	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	4.32	16.6	0.582	0.170	0.808	0.100	1.000	0.237	Licua
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	202.17	79.54	-0.92	0.10	0.93	0.50	1.12	0.75	1.00	1.00	1.00	13.5	4.37	17.8	0.570	0.182	0.808	0.105	1.000	0.258	Licua
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	242.59	95.44	-1.16	0.13	0.91	0.51	1.02	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	2.46	14.8	0.557	0.154	0.808	0.100	1.000	0.224	Licua
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	283.02	111.34	-1.39	0.15	0.89	0.52	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	12.1	3.74	15.8	0.543	0.163	0.808	0.100	0.989	0.240	Licua
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	323.44	127.24	-1.61	0.18	0.86	0.56	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	2.79	11.3	0.528	0.127	0.808	0.087	0.979	0.191	Licua
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	363.87	143.14	-1.79	0.19	0.84	0.45	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	18.5	5.46	23.9	0.513	0.267	0.808	0.126	0.955	0.402	Licua
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	404.29	159.04	-1.95	0.21	0.81	0.55	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	9.3	5.21	14.5	0.497	0.152	0.808	0.090	0.958	0.237	Licua
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	444.72	174.94	-2.06	0.22	0.79	0.49	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	14.2	3.45	17.7	0.483	0.180	0.808	0.108	0.940	0.284	Licua
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	501.80	207.50	-2.12	0.22	0.77	0.50	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	14.1	2.94	17.0	0.446	0.174	0.808	0.107	0.922	0.291	Licua
Sondagem		: S-03																							
Nível Freático (m)		: 0.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ'/P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr		Razã Energ	Diã Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀				(N ₁) _{60cs}	C _σ			K _σ
										m	C _N														
0.50	SM	1.65	0.50	11.0	8.09	3.19	0.00	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.613	0.122	0.808	0.094	1.000	0.161	Licua
3.00	SM	1.65	22.80	8.0	48.52	19.09	-0.13	0.02	0.99	0.56	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	8.2	4.87	13.0	0.608	0.140	0.808	0.086	1.000	0.187	Licua
5.50	SM	1.65	22.20	9.0	88.94	34.99	-0.30	0.03	0.98	0.54	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	9.8	4.80	14.6	0.600	0.152	0.808	0.091	1.000	0.205	Licua
8.00	SM	1.65	12.80	11.0	129.37	50.89	-0.50	0.06	0.97	0.53	1.43	0.75	1.00	0.95	1.00	11.2	2.46	13.7	0.591	0.145	0.808	0.096	1.000	0.199	Licua
10.50	SM	1.65	15.00	18.0	169.79	66.79	-0.73	0.08	0.95	0.47	1.21	0.75	1.00	1.00	1.00	16.3	3.29	19.6	0.580	0.201	0.808	0.116	1.000	0.281	Licua
13.00	SM	1.65	16.90	17.0	210.22	82.69	-0.96	0.11	0.93	0.50	1.10	0.75	1.00	1.00	1.00	14.0	3.85	17.9	0.568	0.182	0.808	0.107	1.000	0.259	Licua
15.50	SM	1.65	14.70	20.0	250.64	98.59	-1.20	0.13	0.91	0.49	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	15.1	3.19	18.3	0.554	0.187	0.808	0.111	1.000	0.272	Licua
18.00	SM	1.65	13.90	16.0	291.07	114.49	-1.43	0.16	0.88	0.53	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	2.90	14.1	0.540	0.149	0.808	0.096	0.987	0.219	Licua
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	331.49	130.39	-1.65	0.18	0.86	0.52	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	11.8	4.73	16.5	0.525	0.169	0.808	0.098	0.974	0.254	Licua
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	371.92	146.29	-1.83	0.20	0.83	0.51	0.82	0.75	1.00	1.00	1.00	13.0	3.69	16.7	0.510	0.171	0.808	0.103	0.961	0.260	Licua
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	412.34	162.19	-1.97	0.21	0.81	0.51	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	12.9	2.16	15.1	0.494	0.157	0.808	0.103	0.950	0.243	Licua
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	452.77	178.09	-2.08	0.22	0.78	0.52	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	11.7	2.63	14.3	0.480	0.150	0.808	0.098	0.943	0.239	Licua
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	509.85	210.65	-2.13	0.22	0.76	0.52	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	3.63	15.9	0.444	0.164	0.808	0.100	0.925	0.276	Licua

Tabela 5.10g - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.37 g

Sondagem		: S-01																							
Nível Freático (m)		: 10.00																							
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr	Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}				C _σ	K _σ			
0.50	SM	1.60	21.00	5.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.241	0.114	0.808	0.075	1.000	0.382	No Licua
3.00	SM	1.60	21.20	6.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.60	1.57	0.75	1.00	0.80	1.00	5.7	4.67	10.3	0.239	0.120	0.808	0.078	1.000	0.407	No Licua
5.50	SM	1.60	19.60	11.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.57	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	7.6	4.42	12.1	0.236	0.133	0.808	0.084	1.000	0.455	No Licua
8.00	SM	1.60	21.00	12.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.57	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	7.5	4.65	12.2	0.232	0.134	0.808	0.084	0.981	0.456	No Licua
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	165.87	160.97	-0.73	0.08	0.95	0.59	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	6.2	3.26	9.5	0.235	0.114	0.808	0.080	0.962	0.379	Licua
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	206.30	176.87	-0.96	0.11	0.93	0.57	0.72	0.75	1.00	1.00	1.00	7.6	2.25	9.8	0.261	0.117	0.808	0.084	0.952	0.345	Licua
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	246.72	192.77	-1.20	0.13	0.91	0.52	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	11.7	5.40	17.1	0.279	0.175	0.808	0.098	0.935	0.474	Licua
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	287.15	208.67	-1.43	0.16	0.88	0.57	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	7.9	0.00	7.9	0.292	0.104	0.808	0.085	0.937	0.269	Licua
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	327.57	224.57	-1.65	0.18	0.86	0.61	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	5.0	3.36	8.4	0.301	0.107	0.808	0.076	0.939	0.270	Licua
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	368.00	240.47	-1.83	0.20	0.83	0.59	0.59	0.75	1.00	1.00	1.00	6.2	2.98	9.2	0.307	0.113	0.808	0.080	0.930	0.276	Licua
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	408.42	256.37	-1.97	0.21	0.81	0.58	0.58	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.75	9.7	0.310	0.116	0.808	0.082	0.923	0.279	Licua
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	465.51	288.93	-2.08	0.22	0.78	0.57	0.55	0.75	1.00	1.00	1.00	7.8	2.90	10.7	0.304	0.123	0.808	0.085	0.910	0.297	Licua

Sondagem : S-02

Nível Freático (m) : 10.00

Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr	Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}				C _σ	K _σ			
2.50	SM	1.60	16.70	8.0	39.24	39.24	-0.10	0.01	1.00	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.240	0.128	0.808	0.084	1.000	0.433	No Licua
5.00	SM	1.60	21.60	11.0	78.44	78.44	-0.27	0.03	0.98	0.57	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	8.0	4.73	12.8	0.237	0.138	0.808	0.086	1.000	0.472	No Licua
7.50	SM	1.60	17.00	11.0	117.64	117.64	-0.46	0.05	0.97	0.58	0.91	0.75	1.00	0.95	1.00	7.1	3.87	11.0	0.233	0.125	0.808	0.083	0.987	0.428	No Licua
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	158.07	158.07	-0.68	0.08	0.95	0.57	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	4.32	11.8	0.229	0.131	0.808	0.084	0.962	0.445	Licua
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	198.49	173.97	-0.92	0.10	0.93	0.56	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	8.8	4.37	13.2	0.256	0.142	0.808	0.088	0.951	0.425	Licua
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	238.92	189.87	-1.16	0.13	0.91	0.56	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	8.4	2.46	10.8	0.276	0.124	0.808	0.087	0.944	0.343	Licua
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	279.34	205.77	-1.39	0.15	0.89	0.56	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	3.74	12.3	0.290	0.134	0.808	0.087	0.937	0.351	Licua
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	319.77	221.67	-1.61	0.18	0.86	0.59	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	6.1	2.79	8.9	0.300	0.110	0.808	0.079	0.937	0.279	Licua
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	360.19	237.57	-1.79	0.19	0.84	0.49	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	14.2	5.46	19.6	0.306	0.201	0.808	0.108	0.907	0.483	Licua
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	400.62	253.47	-1.95	0.21	0.81	0.58	0.58	0.75	1.00	1.00	1.00	7.0	5.21	12.2	0.309	0.134	0.808	0.082	0.924	0.323	Licua
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	441.04	269.37	-2.06	0.22	0.79	0.53	0.59	0.75	1.00	1.00	1.00	11.1	3.45	14.6	0.311	0.152	0.808	0.096	0.905	0.359	Licua
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	498.13	301.93	-2.12	0.22	0.77	0.53	0.56	0.75	1.00	1.00	1.00	11.3	2.94	14.3	0.304	0.150	0.808	0.097	0.893	0.356	Licua

Sondagem : S-03

Nível Freático (m) : 10.00

Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N _m (Golpes/pé)	σ _{vt} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Finot			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K _σ = 1-C _σ *Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobrecarr	Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}				C _σ	K _σ			
0.50	SM	1.60	0.50	11.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.241	0.122	0.808	0.094	1.000	0.408	No Licua
3.00	SM	1.60	22.80	8.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.58	1.54	0.75	1.00	0.80	1.00	7.4	4.87	12.3	0.239	0.135	0.808	0.084	1.000	0.455	No Licua
5.50	SM	1.60	22.20	9.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.59	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	6.3	4.80	11.1	0.236	0.126	0.808	0.080	1.000	0.430	No Licua
8.00	SM	1.60	12.80	11.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.58	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	6.9	2.46	9.3	0.232	0.113	0.808	0.082	0.981	0.387	No Licua
10.50	SM	1.65	15.00	18.0	165.87	160.97	-0.73	0.08	0.95	0.54	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	10.5	3.29	13.8	0.235	0.146	0.808	0.094	0.955	0.479	Licua
13.00	SM	1.65	16.90	17.0	206.30	176.87	-0.96	0.11	0.93	0.55	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	9.3	3.85	13.2	0.261	0.141	0.808	0.090	0.949	0.416	Licua
15.50	SM	1.65	14.70	20.0	246.72	192.77	-1.20	0.13	0.91	0.53	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	10.6	3.19	13.8	0.279	0.146	0.808	0.094	0.938	0.397	Licua
18.00	SM	1.65	13.90	16.0	287.15	208.67	-1.43	0.16	0.88	0.57	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	7.9	2.90	10.8	0.292	0.124	0.808	0.085	0.937	0.321	Licua
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	327.57	224.57	-1.65	0.18	0.86	0.56	0.64	0.75	1.00	1.00	1.00	8.6	4.73	13.3	0.301	0.142	0.808	0.088	0.929	0.355	Licua
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	368.00	240.47	-1.83	0.20	0.83	0.54	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	9.8	3.69	13.5	0.307	0.144	0.808	0.092	0.920	0.348	Licua
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	408.42	256.37	-1.97	0.21	0.81	0.54	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	9.9	2.16	12.1	0.310	0.133	0.808	0.092	0.913	0.317	Licua
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	448.85	272.27	-2.08	0.22	0.78	0.55	0.57	0.75	1.00	1.00	1.00	9.1	2.63	11.7	0.311	0.130	0.808	0.089	0.911	0.308	Licua
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	505.93	304.83	-2.13	0.22	0.76	0.54	0.55	0.75	1.00	1.00	1.00	9.8	3.63	13.5	0.305	0.144	0.808	0.092	0.898	0.342	Licua

Tabela 5.10h - Cálculo do Potencial de Liquefação – NCEER (1998) e Idriss & Boulanger (2006)

MAGNITUDE : 8.3 Mw
ACELERAÇÃO PICO : 0.37 g

Sondagem	S-01																								
Nível Freático (m)	25.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Fino:			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C _u *Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _α	K _α			
																									m
0.50	SM	1.60	21.00	5.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.241	0.114	0.808	0.075	1.000	0.382	No Licua
3.00	SM	1.60	21.20	6.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.60	1.57	0.75	1.00	0.80	1.00	5.7	4.67	10.3	0.239	0.120	0.808	0.078	1.000	0.407	No Licua
5.50	SM	1.60	19.60	11.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.57	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	7.6	4.42	12.1	0.236	0.133	0.808	0.084	1.000	0.455	No Licua
8.00	SM	1.60	21.00	12.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.57	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	7.5	4.65	12.2	0.232	0.134	0.808	0.084	0.981	0.456	No Licua
10.50	SM	1.60	14.90	11.0	164.65	164.65	-0.73	0.08	0.95	0.59	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	6.1	3.26	9.4	0.228	0.114	0.808	0.079	0.960	0.387	No Licua
13.00	SM	1.60	12.30	14.0	203.85	203.85	-0.96	0.11	0.93	0.58	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.25	9.2	0.223	0.112	0.808	0.082	0.942	0.383	No Licua
15.50	SM	1.60	30.80	22.0	243.05	243.05	-1.20	0.13	0.91	0.54	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	10.2	5.40	15.6	0.218	0.161	0.808	0.093	0.917	0.549	No Licua
18.00	SP	1.60	2.40	16.0	282.25	282.25	-1.43	0.16	0.88	0.59	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	6.5	0.00	6.5	0.212	0.095	0.808	0.081	0.916	0.332	No Licua
20.50	SM	1.60	15.20	11.0	321.45	321.45	-1.65	0.18	0.86	0.63	0.48	0.75	1.00	1.00	1.00	3.9	3.36	7.3	0.206	0.100	0.808	0.072	0.916	0.359	No Licua
23.00	SM	1.60	14.10	14.0	360.65	360.65	-1.83	0.20	0.83	0.62	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	4.8	2.98	7.7	0.200	0.103	0.808	0.075	0.904	0.375	No Licua
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	401.07	396.17	-1.97	0.21	0.81	0.61	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	5.2	2.75	7.9	0.197	0.104	0.808	0.076	0.895	0.383	Licua
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	458.16	428.73	-2.08	0.22	0.78	0.60	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	6.0	2.90	8.9	0.202	0.110	0.808	0.079	0.885	0.392	Licua
Sondagem	S-02																								
Nível Freático (m)	25.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Fino:			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C _u *Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _α	K _α			
																									m
2.50	SM	1.60	16.70	8.0	39.24	39.24	-0.10	0.01	1.00	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.240	0.128	0.808	0.084	1.000	0.433	No Licua
5.00	SM	1.60	21.60	11.0	78.44	78.44	-0.27	0.03	0.98	0.57	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	8.0	4.73	12.8	0.237	0.138	0.808	0.086	1.000	0.472	No Licua
7.50	SM	1.60	17.00	11.0	117.64	117.64	-0.46	0.05	0.97	0.58	0.91	0.75	1.00	0.95	1.00	7.1	3.87	11.0	0.233	0.125	0.808	0.083	0.987	0.428	No Licua
10.00	SM	1.60	19.00	13.0	156.84	156.84	-0.68	0.08	0.95	0.57	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	4.32	11.8	0.229	0.131	0.808	0.084	0.962	0.446	No Licua
12.50	SM	1.60	19.30	16.0	196.04	196.04	-0.92	0.10	0.93	0.56	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	8.2	4.37	12.6	0.224	0.137	0.808	0.086	0.942	0.464	No Licua
15.00	SM	1.60	12.80	16.0	235.24	235.24	-1.16	0.13	0.91	0.58	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	7.3	2.46	9.8	0.219	0.117	0.808	0.083	0.929	0.399	No Licua
17.50	SM	1.60	16.50	17.0	274.44	274.44	-1.39	0.15	0.89	0.58	0.56	0.75	1.00	1.00	1.00	7.1	3.74	10.8	0.214	0.124	0.808	0.083	0.917	0.430	No Licua
20.00	SM	1.60	13.60	13.0	313.64	313.64	-1.61	0.18	0.86	0.62	0.49	0.75	1.00	1.00	1.00	4.8	2.79	7.6	0.208	0.102	0.808	0.075	0.914	0.363	No Licua
22.50	SM	1.60	32.90	29.0	352.84	352.84	-1.79	0.19	0.84	0.53	0.51	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	5.46	16.7	0.202	0.171	0.808	0.096	0.878	0.601	No Licua
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	393.27	393.27	-1.95	0.21	0.81	0.61	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	5.2	5.21	10.4	0.196	0.121	0.808	0.076	0.895	0.448	Licua
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	433.69	409.17	-2.06	0.22	0.79	0.56	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	3.45	12.0	0.201	0.132	0.808	0.087	0.877	0.466	Licua
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	490.78	441.73	-2.12	0.22	0.77	0.56	0.44	0.75	1.00	1.00	1.00	8.9	2.94	11.8	0.205	0.131	0.808	0.088	0.869	0.449	Licua
Sondagem	S-03																								
Nível Freático (m)	25.00																								
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Finos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' (KPa)	r _d = exp [α(z) + β(z)*M]			CORREÇÕES					Corr C.Fino:			CSR	CRR _{7.5}	MSF	K ₀ = 1-C _u *Ln(σ' _v /P _a)		F S L	Observ	
							α(z)	β(z)	r _d	Press Sobreccarr	Razã Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}				C _α	K _α			
																									m
0.50	SM	1.60	0.50	11.0	7.85	7.85	0.00	0.00	1.00	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.241	0.122	0.808	0.094	1.000	0.408	No Licua
3.00	SM	1.60	22.80	8.0	47.05	47.05	-0.13	0.02	0.99	0.58	1.54	0.75	1.00	0.80	1.00	7.4	4.87	12.3	0.239	0.135	0.808	0.084	1.000	0.455	No Licua
5.50	SM	1.60	22.20	9.0	86.25	86.25	-0.30	0.03	0.98	0.59	1.09	0.75	1.00	0.85	1.00	6.3	4.80	11.1	0.236	0.126	0.808	0.080	1.000	0.430	No Licua
8.00	SM	1.60	12.80	11.0	125.45	125.45	-0.50	0.06	0.97	0.58	0.88	0.75	1.00	0.95	1.00	6.9	2.46	9.3	0.232	0.113	0.808	0.082	0.981	0.387	No Licua
10.50	SM	1.60	15.00	18.0	164.65	164.65	-0.73	0.08	0.95	0.54	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	10.3	3.29	13.6	0.228	0.145	0.808	0.093	0.953	0.489	No Licua
13.00	SM	1.60	16.90	17.0	203.85	203.85	-0.96	0.11	0.93	0.56	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	8.6	3.85	12.4	0.223	0.136	0.808	0.087	0.938	0.460	No Licua
15.50	SM	1.60	14.70	20.0	243.05	243.05	-1.20	0.13	0.91	0.55	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	3.19	12.4	0.218	0.135	0.808	0.090	0.920	0.462	No Licua
18.00	SM	1.60	13.90	16.0	282.25	282.25	-1.43	0.16	0.88	0.59	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	6.5	2.90	9.4	0.212	0.114	0.808	0.081	0.916	0.398	No Licua
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	322.67	322.67	-1.65	0.18	0.86	0.58	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	6.8	4.73	11.5	0.206	0.129	0.808	0.082	0.904	0.457	No Licua
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	363.10	363.10	-1.83	0.20	0.83	0.57	0.48	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	3.69	11.2	0.200	0.127	0.808	0.084	0.892	0.455	No Licua
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	403.52	398.62	-1.97	0.21	0.81	0.57	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	2.16	9.6	0.197	0.115	0.808	0.084	0.884	0.419	Licua
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	443.95	414.52	-2.08	0.22	0.78	0.58	0.44	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.63	9.5	0.202	0.115	0.808	0.082	0.884	0.405	Licua
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	501.03	447.08	-2.13	0.22	0.76	0.57	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	7.6	3.63	11.3	0.206	0.127	0.808	0.084	0.874	0.437	Licua

5.4.

Análise de estabilidade de talude com o Slide e o FLAC

Análises de estabilidade de taludes são comumente realizados na prática da engenharia de mecânica de solos. Neste projeto realizaremos a análise de estabilidade de talude da pilha de lixiviação considerando três condições:

1. Estabilidade estática a longo prazo (com o Slide e o FLAC).
2. Estabilidade estática pós-sismo, supondo que o minério saturado foi liquefeito, (isto é, o minério trabalhará com sua resistência residual) devido ao alto nível de solução dentro da pilha, segundo a análise de potencial de liquefação realizado anteriormente (com o Slide e o FLAC).
3. Estabilidade estática pós-sismo, segundo a análise dinâmica realizada com o FLAC considerando as zonas liquefeitas com propriedades de resistência residual não drenada (com o Slide).

Em casos onde se comprova que existe liquefação, as análises pseudo-estáticas não são realizadas devido a que a condição mais desfavorável é a condição pós-sismo. Também, análises de deformações induzidas sismicamente que são feitas quando o fator de segurança pseudo-estática é menor que 1,0, (método de Newmark ou Makdisi-Seed), não foram executadas pela mesma razão, as deformações que aconteceram serão devidas ao fenômeno de liquefação.

Usaram-se dois programas para realizar a análise de estabilidade de taludes. O primeiro foi o Slide, um programa 2D de equilíbrio limite para análise de estabilidade de taludes em solos e rochas. O segundo foi o Flac, um programa explícito 2D de diferenças finitas para cálculos na engenharia mecânica, que simula o comportamento de estruturas feitas de solo, rochas ou qualquer outro material.

A análise com o programa Slide (da Rocscience) foi feita nas mesmas 4 seções A, B, C e D onde foram realizadas a análise de potencial de liquefação; e para o análise com o Flac se escolheu só uma seção, a seção B por ser a que apresenta maior instabilidade de talude e se verificou sua semelhança com o Slide.

5.4.1.

Propriedades de resistência para a análise de estabilidade

Os parâmetros de resistência para os distintos materiais utilizados na construção da pilha foram determinados de acordo à compilação de estudos realizados nela e que foram resumidos no relatório do projeto.

Fundação

O lugar onde esta localizada a pilha de lixiviação consiste de material estéril e solos aluviais descansando sobre o leito rochoso. O material de estéril foi aterrado e compactado e foi construído para criar uma pendente homogênea para toda a pilha. O leito rochoso na área da pilha esta conformado por brechas gnais e granodioritas e está localizado aproximadamente de 10 a 30 metros sob solo aluvial/aterro compactado. Devido à alta coesão e ângulo de atrito, o leito rochoso atua como uma barreira para as falhas circulares.

Interface de geomembrana

Tipicamente numa modelagem de pilha de lixiviação existem duas interfaces: a interface entre a geomembrana e o leito; e a interface entre a geomembrana e o sistema de drenagem ou minério (revestimento da geomembrana ou overliner). Nesta pilha a geomembrana utilizada foi Polietileno de Baixa Densidade (LLDPE) texturada em ambos os lados. Baseado em estudos anteriores, a interface mais débil será entre o revestimento da geomembrana (overliner) e geomembrana.

Minério triturado

Baseados nos estudos feitos na pilha, as propriedades de resistência do minério tem mudado a través dos tempos. A resistência não drenada do minério representa a resistência em curto prazo de um material assumindo condições não drenadas. Isto é só aplicável para materiais embaixo da superfície freática com excesso de pressão dos poros sob condições de cisalhamento rápido que não permite um tempo adequado para que o material drene.

A tensão cisalhante pós-sismo significa a resistência não drenada do minério diretamente depois de um evento sísmico o suficientemente grande para induzir

Tabela 5.11a - Cálculo da resistência residual não drenada (Idriss e Boulanger, 2007)

Sondagem : DH-01																		
Nível Freático (m) : 5.00																		
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v0} (KPa)	σ' _{v0} (KPa)	CORRÊÇÕES											
							Press Sobrecarr.		Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ' (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							m	σ' _{v0}										
1.00	SC	1.60	20.9	50	15.70	15.70	0.26	1.63	0.75	1.00	0.75	1.00	45.9	4.63	50.5	0.70	0.70	
2.00	SC	1.60	20.9	40	31.38	31.38	0.34	1.48	0.75	1.00	0.75	1.00	33.4	4.63	38.0	0.70	0.70	
3.00	SC	1.60	20.9	56	47.06	47.06	0.29	1.24	0.75	1.00	0.80	1.00	41.7	4.63	46.4	0.70	0.70	
4.00	SC	1.60	20.9	26	62.74	62.74	0.44	1.23	0.75	1.00	0.85	1.00	20.3	4.63	25.0	0.70	0.70	
5.00	SC	1.60	25.0	37	78.42	78.42	0.39	1.10	0.75	1.00	0.85	1.00	26.0	5.08	31.0	0.70	0.70	
6.00	SC	1.60	25.0	73	94.10	84.29	0.22	1.04	0.75	1.00	0.95	1.00	54.0	5.08	59.1	0.70	0.70	

Sondagem : DH-02																		
Nível Freático (m) : 5.00																		
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v0} (KPa)	σ' _{v0} (KPa)	CORRÊÇÕES											
							Press Sobrecarr.		Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ' (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							m	σ' _{v0}										
2.00	SC	1.60	23.1	18	31.39	31.39	0.47	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	17.2	4.90	22.1	0.70	0.70	
3.00	SC	1.60	23.1	18	47.07	47.07	0.48	1.44	0.75	1.00	0.80	1.00	15.5	4.90	20.4	0.70	0.70	
4.00	SC	1.60	23.1	17	62.75	62.75	0.50	1.26	0.75	1.00	0.85	1.00	13.7	4.90	18.6	0.70	0.66	
5.00	SC	1.60	20.6	17	78.43	78.43	0.51	1.13	0.75	1.00	0.85	1.00	12.3	4.59	16.9	0.70	0.36	
6.00	SC	1.60	20.6	18	94.11	84.30	0.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	14.0	4.59	18.5	0.70	0.65	
7.00	SC	1.65	20.6	18	110.28	90.66	0.50	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	13.5	4.59	18.1	0.70	0.54	

Sondagem : DH-03																		
Nível Freático (m) : 5.00																		
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v0} (KPa)	σ' _{v0} (KPa)	CORRÊÇÕES											
							Press Sobrecarr.		Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ' (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							m	σ' _{v0}										
1.00	SC	1.60	24.1	54	15.70	15.70	0.25	1.59	0.75	1.00	0.75	1.00	48.3	5.00	53.3	0.70	0.70	
2.00	SC	1.60	24.1	53	31.38	31.38	0.29	1.40	0.75	1.00	0.75	1.00	41.6	5.00	46.6	0.70	0.70	
4.20	SC	1.60	24.1	39	65.87	65.87	0.37	1.17	0.75	1.00	0.85	1.00	29.0	5.00	34.0	0.70	0.70	
5.00	SC	1.60	20.0	13	78.42	78.42	0.55	1.14	0.75	1.00	0.85	1.00	9.5	4.49	14.0	0.70	0.17	
6.00	SC	1.65	20.0	11	94.59	84.78	0.56	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	8.6	4.49	13.1	0.70	0.15	
7.00	SC	1.65	20.0	13	110.76	91.14	0.54	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	7.2	4.49	14.2	0.70	0.18	

Sondagem : DH-04																		
Nível Freático (m) : 5.00																		
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v0} (KPa)	σ' _{v0} (KPa)	CORRÊÇÕES											
							Press Sobrecarr.		Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ' (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							m	σ' _{v0}										
1.00	SC	1.60	21.2	26	15.70	15.70	0.40	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	24.9	4.67	29.5	0.70	0.70	
2.00	SC	1.60	21.2	14	31.38	31.38	0.50	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	13.4	4.67	18.1	0.70	0.54	
3.00	SC	1.60	21.2	12	47.06	47.06	0.53	1.49	0.75	1.00	0.80	1.00	10.8	4.67	15.4	0.70	0.24	
4.00	SC	1.60	21.2	13	62.74	62.74	0.53	1.28	0.75	1.00	0.85	1.00	10.6	4.67	15.3	0.70	0.23	
5.00	SC	1.65	17.7	10	78.91	78.91	0.58	1.15	0.75	1.00	0.85	1.00	7.3	4.04	11.4	0.70	0.12	
6.00	SC	1.65	17.7	8	95.08	85.27	0.59	1.10	0.75	1.00	0.95	1.00	6.3	4.04	10.3	0.70	0.10	
7.00	SC	1.65	17.7	11	111.25	91.63	0.56	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	8.2	4.04	12.3	0.70	0.13	

Sondagem : DH-05																		
Nível Freático (m) : 5.00																		
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v0} (KPa)	σ' _{v0} (KPa)	CORRÊÇÕES											
							Press Sobrecarr.		Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60cs}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ' (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							m	σ' _{v0}										
1.00	SC	1.60	21.1	11	15.70	15.70	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	4.66	15.2	0.70	0.23	
2.00	SC	1.60	21.1	13	31.38	31.38	0.51	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	12.4	4.66	17.1	0.70	0.39	
3.00	SC	1.60	21.1	13	47.06	47.06	0.52	1.48	0.75	1.00	0.80	1.00	11.6	4.66	16.2	0.70	0.30	
4.00	SC	1.60	21.1	12	62.74	62.74	0.54	1.29	0.75	1.00	0.85	1.00	9.9	4.66	14.5	0.70	0.19	
5.00	SC	1.60	21.1	13	78.42	78.42	0.55	1.14	0.75	1.00	0.85	1.00	9.5	4.66	14.1	0.70	0.18	
6.00	SC	1.65	21.1	18	94.59	84.78	0.50	1.09	0.75	1.00	0.95	1.00	13.9	4.66	18.6	0.70	0.66	
7.00	SC	1.65	21.1	17	110.76	91.14	0.51	1.05	0.75	1.00	0.95	1.00	12.7	4.66	17.4	0.70	0.43	
8.00	SM	1.65	17.3	16	126.93	97.50	0.52	1.01	0.75	1.00	0.95	1.00	11.6	3.95	15.5	0.70	0.25	
9.00	SM	1.65	17.3	17	143.10	103.86	0.52	0.98	0.75	1.00	0.95	1.00	11.9	3.95	15.8	0.70	0.27	
10.00	SM	1.65	17.3	13	159.27	110.22	0.55	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	3.95	13.2	0.70	0.15	
11.00	SM	1.65	17.3	18	175.44	116.58	0.51	0.92	0.75	1.00	1.00	1.00	12.5	3.95	16.4	0.70	0.32	
12.00	SM	1.65	17.3	26	191.61	122.94	0.46	0.91	0.75	1.00	1.00	1.00	17.7	3.95	21.7	0.70	0.37	

Tabela 5.11b - Cálculo da resistência residual não drenada (Idriss e Boulanger, 2007)

Sondagem		S-01		Nível Freático (m)		0.00																
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N _u (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) _{ho}	Corr C.Fínos Δ(N ₁) _{ho}	(N ₁) _{hoCS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ ⁰ (φ ⁰ =35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média			
							Press Sobrecarr. m	C _u	Razã Energ C _e	Razã Diâm C _b	Diâm Perf C _b	Compr Vara C _R	Met Amost C _s									
0.50	SM	1.65	21.00	5.0	8.09	3.19	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.70	0.09					
3.00	SM	1.65	21.20	6.0	48.52	19.09	0.59	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	6.1	4.67	10.8	0.70	0.11					
5.50	SM	1.65	19.60	11.0	88.94	34.99	0.52	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	11.9	4.42	16.3	0.70	0.31					
8.00	SM	1.65	21.00	12.0	129.37	50.89	0.52	1.42	0.75	1.00	0.95	1.00	12.1	4.65	16.8	0.70	0.35					
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	169.79	66.79	0.54	1.24	0.75	1.00	1.00	1.00	10.3	3.26	13.5	0.70	0.16					
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	210.22	82.69	0.52	1.10	0.75	1.00	1.00	1.00	11.6	2.25	13.8	0.70	0.17					
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	250.64	98.59	0.47	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	16.6	5.40	22.0	0.70	0.70					
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	291.07	114.49	0.53	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	0.00	11.2	0.70	0.11					
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	331.49	130.39	0.58	0.86	0.75	1.00	1.00	1.00	7.1	3.36	10.4	0.70	0.10					
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	371.92	146.29	0.56	0.81	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	2.98	11.5	0.70	0.12					
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	412.34	162.19	0.55	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	9.2	2.75	11.9	0.70	0.12					
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	469.43	194.75	0.54	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	9.9	2.90	12.8	0.70	0.14	0.16				
Sondagem		S-02		Nível Freático (m)		0.00																
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N _u (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) _{ho}	Corr C.Fínos Δ(N ₁) _{ho}	(N ₁) _{hoCS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ ⁰ (φ ⁰ =35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média			
							Press Sobrecarr. m	C _u	Razã Energ C _e	Razã Diâm C _b	Diâm Perf C _b	Compr Vara C _R	Met Amost C _s									
2.50	SM	1.65	16.70	8.0	40.47	15.94	0.57	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	7.7	3.80	11.4	0.70	0.12					
5.00	SM	1.65	21.60	11.0	80.89	31.84	0.52	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	11.9	4.73	16.6	0.70	0.34					
7.50	SM	1.65	17.00	11.0	121.32	47.74	0.52	1.47	0.75	1.00	0.95	1.00	11.5	3.87	15.4	0.70	0.24					
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	161.74	63.64	0.51	1.26	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	4.32	16.6	0.70	0.34					
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	202.17	79.54	0.50	1.12	0.75	1.00	1.00	1.00	13.5	4.37	17.8	0.70	0.50					
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	242.59	95.44	0.51	1.02	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	2.46	14.8	0.70	0.20					
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	283.02	111.34	0.52	0.95	0.75	1.00	1.00	1.00	12.1	3.74	15.8	0.70	0.27					
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	323.44	127.24	0.56	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	8.5	2.79	11.3	0.70	0.11					
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	363.87	143.14	0.45	0.85	0.75	1.00	1.00	1.00	18.5	5.46	23.9	0.70	0.70					
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	404.29	159.04	0.55	0.77	0.75	1.00	1.00	1.00	9.3	5.21	14.5	0.70	0.19					
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	444.72	174.94	0.49	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	14.2	3.45	17.7	0.70	0.47					
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	501.80	207.50	0.50	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	14.1	2.94	17.0	0.70	0.38	0.23				
Sondagem		S-03		Nível Freático (m)		0.00																
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N _u (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) _{ho}	Corr C.Fínos Δ(N ₁) _{ho}	(N ₁) _{hoCS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ ⁰ (φ ⁰ =35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média			
							Press Sobrecarr. m	C _u	Razã Energ C _e	Razã Diâm C _b	Diâm Perf C _b	Compr Vara C _R	Met Amost C _s									
0.50	SM	1.65	0.50	11.0	8.09	3.19	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.70	0.10					
3.00	SM	1.65	22.80	8.0	48.52	19.09	0.56	1.70	0.75	1.00	0.80	1.00	8.2	4.87	13.0	0.70	0.15					
5.50	SM	1.65	22.20	9.0	88.94	34.99	0.54	1.70	0.75	1.00	0.85	1.00	9.8	4.80	14.6	0.70	0.20					
8.00	SM	1.65	12.80	11.0	129.37	50.89	0.53	1.43	0.75	1.00	0.95	1.00	11.2	2.46	13.7	0.70	0.16					
10.50	SM	1.65	15.00	18.0	169.79	66.79	0.47	1.21	0.75	1.00	1.00	1.00	16.3	3.29	19.6	0.70	0.70					
13.00	SM	1.65	16.90	17.0	210.22	82.69	0.50	1.10	0.75	1.00	1.00	1.00	14.0	3.85	17.9	0.70	0.51					
15.50	SM	1.65	14.70	20.0	250.64	98.59	0.49	1.01	0.75	1.00	1.00	1.00	15.1	3.19	18.3	0.70	0.59					
18.00	SM	1.65	13.90	16.0	291.07	114.49	0.53	0.93	0.75	1.00	1.00	1.00	11.2	2.90	14.1	0.70	0.18					
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	331.49	130.39	0.52	0.87	0.75	1.00	1.00	1.00	11.8	4.73	16.5	0.70	0.32					
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	371.92	146.29	0.51	0.82	0.75	1.00	1.00	1.00	13.0	3.69	16.7	0.70	0.34					
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	412.34	162.19	0.51	0.78	0.75	1.00	1.00	1.00	12.9	2.16	15.1	0.70	0.22					
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	452.77	178.09	0.52	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	11.7	2.63	14.3	0.70	0.18					
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	509.85	210.65	0.52	0.68	0.75	1.00	1.00	1.00	12.3	3.63	15.9	0.70	0.27	0.21				
Sondagem		S-01		Nível Freático (m)		10.00																
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N _u (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) _{ho}	Corr C.Fínos Δ(N ₁) _{ho}	(N ₁) _{hoCS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ ⁰ (φ ⁰ =35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média			
							Press Sobrecarr. m	C _u	Razã Energ C _e	Razã Diâm C _b	Diâm Perf C _b	Compr Vara C _R	Met Amost C _s									
0.50	SM	1.65	21.00	5.0	8.09	3.19	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.70	0.09					
3.00	SM	1.65	21.20	6.0	48.52	19.09	0.60	1.55	0.75	1.00	0.80	1.00	5.6	4.67	10.2	0.70	0.10					
5.50	SM	1.65	19.60	11.0	88.94	34.99	0.57	1.07	0.75	1.00	0.85	1.00	7.5	4.42	11.9	0.70	0.12					
8.00	SM	1.65	21.00	12.0	129.37	50.89	0.58	0.86	0.75	1.00	0.95	1.00	7.4	4.65	12.0	0.70	0.13					
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	169.79	66.79	0.59	0.74	0.75	1.00	1.00	1.00	6.1	3.26	9.4	0.70	0.09					
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	210.22	82.69	0.57	0.71	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	2.25	9.7	0.70	0.10					
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	250.64	98.59	0.52	0.70	0.75	1.00	1.00	1.00	11.6	5.40	17.0	0.70	0.38					
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	291.07	114.49	0.57	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	7.8	0.00	7.8	0.70	0.08					
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	331.49	130.39	0.61	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	5.0	3.36	8.3	0.70	0.08					
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	371.92	146.29	0.59	0.59	0.75	1.00	1.00	1.00	6.2	2.98	9.2	0.70	0.09					
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	412.34	162.19	0.58	0.57	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	2.75	9.6	0.70	0.10					
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	469.43	194.75	0.57	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	7.7	2.90	10.6	0.70	0.11	0.09				
Sondagem		S-02		Nível Freático (m)		10.00																
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N _u (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) _{ho}	Corr C.Fínos Δ(N ₁) _{ho}	(N ₁) _{hoCS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ ⁰ (φ ⁰ =35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média			
							Press Sobrecarr. m	C _u	Razã Energ C _e	Razã Diâm C _b	Diâm Perf C _b	Compr Vara C _R	Met Amost C _s									
2.50	SM	1.65	16.70	8.0	40.47	15.94	0.57	1.68	0.75	1.00	0.75	1.00	7.6	3.80	11.4	0.70	0.12					
5.00	SM	1.65	21.60	11.0	80.89	31.84	0.57	1.13	0.75	1.00	0.85	1.00	7.9	4.73	12.6	0.70	0.10					
7.50	SM	1.65	17.00	11.0	121.32	47.74	0.58	0.89	0.75	1.00	0.95	1.00	7.0	3.87	10.9	0.70	0.14					
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	161.74	63.64	0.58	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	7.4	4.32	11.7	0.70	0.12					
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	202.17	79.54	0.56	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	8.7	4.37	13.1	0.70	0.15					
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	242.59	95.44	0.56	0.69	0.75	1.00	1.00	1.00	8.3	2.46	14.7	0.70	0.11					
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	283.02	111.34	0.56	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	8.4	3.74	12.2	0.70	0.10					
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	323.44	127.24	0.60	0.62	0.75	1.00	1.00	1.00	6.0	2.79	8.8	0.70	0.09					
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	363.87	143.14	0.50	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	14.1	5.46	19.5	0.70	0.70					
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	404.29	159.04	0.58	0.58	0.75	1.00	1.00	1.00	6.9	5								

Tabela 5.11c - Cálculo da resistência residual não drenada (Idriss e Boulanger, 2007)

Sondagem		: S-01																	
Nível Freático (m)		: 25.00																	
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							Press	Sobrecarr	Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	C _u						
0.50	SM	1.65	21.00	5.0	8.09	8.09	0.62	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	4.8	4.65	9.4	0.70	0.09		
3.00	SM	1.65	21.20	6.0	48.52	48.52	0.60	1.55	0.75	1.00	0.80	1.00	5.6	4.67	10.2	0.70	0.10		
5.50	SM	1.65	19.60	11.0	88.94	88.94	0.57	1.07	0.75	1.00	0.85	1.00	7.5	4.42	11.9	0.70	0.12		
8.00	SM	1.65	21.00	12.0	129.37	129.37	0.58	0.86	0.75	1.00	0.95	1.00	7.4	4.65	12.0	0.70	0.13		
10.50	SM	1.65	14.90	11.0	169.79	169.79	0.60	0.73	0.75	1.00	1.00	1.00	6.0	3.26	9.3	0.70	0.09		
13.00	SM	1.65	12.30	14.0	210.22	210.22	0.58	0.65	0.75	1.00	1.00	1.00	6.8	2.25	9.1	0.70	0.09		
15.50	SM	1.65	30.80	22.0	250.64	250.64	0.54	0.61	0.75	1.00	1.00	1.00	10.0	5.40	15.4	0.70	0.24		
18.00	SP	1.65	2.40	16.0	291.07	291.07	0.59	0.53	0.75	1.00	1.00	1.00	6.4	0.00	6.4	0.70	0.07		
20.50	SM	1.65	15.20	11.0	331.49	331.49	0.63	0.47	0.75	1.00	1.00	1.00	3.9	3.36	7.2	0.70	0.07		
23.00	SM	1.65	14.10	14.0	371.92	371.92	0.62	0.44	0.75	1.00	1.00	1.00	4.7	2.98	7.6	0.70	0.08		
25.50	SM	1.65	13.50	16.0	412.34	407.44	0.61	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	5.1	2.75	7.8	0.70	0.08		
28.00	SM	2.33	13.90	19.0	469.43	440.00	0.60	0.41	0.75	1.00	1.00	1.00	5.9	2.90	8.8	0.70	0.09	0.08	

Sondagem		: S-02																	
Nível Freático (m)		: 25.00																	
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							Press	Sobrecarr	Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	C _u						
2.50	SM	1.65	16.70	8.0	40.47	40.47	0.57	1.68	0.75	1.00	0.75	1.00	7.6	3.80	11.4	0.70	0.12		
5.00	SM	1.65	21.60	11.0	80.89	80.89	0.57	1.13	0.75	1.00	0.85	1.00	7.9	4.73	12.6	0.70	0.14		
7.50	SM	1.65	17.00	11.0	121.32	121.32	0.58	0.89	0.75	1.00	0.95	1.00	7.0	3.87	10.9	0.70	0.11		
10.00	SM	1.65	19.00	13.0	161.74	161.74	0.58	0.76	0.75	1.00	1.00	1.00	7.4	4.32	11.7	0.70	0.12		
12.50	SM	1.65	19.30	16.0	202.17	202.17	0.57	0.67	0.75	1.00	1.00	1.00	8.1	4.37	12.4	0.70	0.13		
15.00	SM	1.65	12.80	16.0	242.59	242.59	0.58	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	7.2	2.46	9.7	0.70	0.10		
17.50	SM	1.65	16.50	17.0	283.02	283.02	0.58	0.55	0.75	1.00	1.00	1.00	7.0	3.74	10.7	0.70	0.11		
20.00	SM	1.65	13.60	13.0	323.44	323.44	0.62	0.48	0.75	1.00	1.00	1.00	4.7	2.79	7.5	0.70	0.08		
22.50	SM	1.65	32.90	29.0	363.87	363.87	0.53	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	11.0	5.46	16.4	0.70	0.32		
25.00	SM	1.65	26.90	16.0	404.29	404.29	0.61	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	5.1	5.21	10.3	0.70	0.10		
27.50	SM	1.65	15.50	25.0	444.72	420.19	0.56	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	8.4	3.45	11.8	0.70	0.12		
30.00	SM	2.33	14.00	27.0	501.80	452.75	0.56	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	8.7	2.94	11.7	0.70	0.12	0.12	

Sondagem		: S-03																	
Nível Freático (m)		: 25.00																	
Prof. (m)	Clasif. (SUCS)	Massa Específica (Ton/m³)	Conteúdo Fínos (%)	Valor N ₆₀ (Golpes/pé)	σ _{v1} (KPa)	σ' _v (KPa)	CORREÇÕES							(N ₁) ₆₀	Corr C.Fínos Δ(N ₁) ₆₀	(N ₁) _{60CS}	Resist. Drenada τ/σ' _{v0} = tanφ (φ=35°)	Resist. Residual S/σ' _{v0}	S/σ' _{v0} Média
							Press	Sobrecarr	Razão Energ	Diâm Perf	Compr Vara	Met Amost	C _u						
0.50	SM	1.65	0.50	11.0	8.09	8.09	0.53	1.70	0.75	1.00	0.75	1.00	10.5	0.00	10.5	0.70	0.10		
3.00	SM	1.65	22.80	8.0	48.52	48.52	0.58	1.52	0.75	1.00	0.80	1.00	7.3	4.87	12.2	0.70	0.13		
5.50	SM	1.65	22.20	9.0	88.94	88.94	0.59	1.07	0.75	1.00	0.85	1.00	6.2	4.80	11.0	0.70	0.11		
8.00	SM	1.65	12.80	11.0	129.37	129.37	0.58	0.86	0.75	1.00	0.95	1.00	6.7	2.46	9.2	0.70	0.09		
10.50	SM	1.65	15.00	18.0	169.79	169.79	0.54	0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	10.1	3.29	13.4	0.70	0.16		
13.00	SM	1.65	16.90	17.0	210.22	210.22	0.56	0.66	0.75	1.00	1.00	1.00	8.4	3.85	12.3	0.70	0.13		
15.50	SM	1.65	14.70	20.0	250.64	250.64	0.55	0.60	0.75	1.00	1.00	1.00	9.0	3.19	12.2	0.70	0.13		
18.00	SM	1.65	13.90	16.0	291.07	291.07	0.59	0.53	0.75	1.00	1.00	1.00	6.4	2.90	9.3	0.70	0.09		
20.50	SM	1.65	21.60	18.0	331.49	331.49	0.59	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	6.7	4.73	11.4	0.70	0.12		
23.00	SM	1.65	16.30	21.0	371.92	371.92	0.58	0.47	0.75	1.00	1.00	1.00	7.4	3.69	11.1	0.70	0.11		
25.50	SM	1.65	12.10	22.0	412.34	407.44	0.58	0.45	0.75	1.00	1.00	1.00	7.3	2.16	9.5	0.70	0.09		
28.00	SM	1.65	13.20	21.0	452.77	423.34	0.58	0.43	0.75	1.00	1.00	1.00	6.8	2.63	9.4	0.70	0.09		
30.50	SM	2.33	16.10	24.0	509.85	455.90	0.57	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	7.5	3.63	11.2	0.70	0.11	0.10	

Tabela 5.12 - Resume das razões de resistência residual não drenada, S_r/σ'_v

Sondagem	Nível Freático sob a Superfície NA (m)			
	0,00	5,00	10,00	25,00
	S_r/σ'_v			
DH-03	-	0,17	-	-
DH-04	-	0,12	-	-
S – 01	0,16	-	0,09	0,08
S – 02	0,23	-	0,14	0,12
S – 03	0,21	-	0,14	0,10
Média	0,20	0,14	0,12	0,10

As sondagens DH-01, DH-02 e DH-05, não foram consideradas por ter valores de N do SPT muito altos devido à cimentação dos solos pelos processos de lixiviação. Os resultados nas outras sondagens dão uma média de S_r/σ'_v igual a 0,15.

As resistências dos materiais para ser usados na análise de estabilidade de talude são resumidas na Tabela 5.13 a continuação.

Tabela 5.13 - Propriedades de resistência dos materiais para a análise de estabilidade

Material	Massa Específica (KN/m ³)	Massa Específica Sat (KN/ m ³)	Resistência Drenada		Resistência Não- drenada	
			C (kPa)	Ø (graus)	C (kPa)	Ø (graus)
Minério não saturado	16.0	-	5	35	--	--
Minério saturado	-	16.5	0	35	Pós sismo $Sr/\sigma'_{v0}=0.15$	
Interface da Geomembrana	9.5	9.5	0	23	--	--
Aterro compactado	16.5	20.5	0	35	--	--
Leito rochoso	25.5	26.5	100	39	--	--

5.4.2. Modelagem com o Slide

A análise de estabilidade foi realizada primeiro com SLIDE versão 5, um programa computacional da Rocscience. Este é um programa bi-dimensional para avaliar a estabilidade de taludes em solos e rochas com superfícies de falhas circular e não circular, considerando um estado plano de deformações. Carregamento externo, nível de água e suportes podem ser modelados numa variedade de formas.

O SLIDE analisa a estabilidade de superfícies deslizantes usando o método de equilíbrio limite de fatias verticais. Superfícies de deslizamentos individuais podem ser analisadas, ou pode ser aplicado o método de busca para localizar a superfície de deslizamento crítica para um talude qualquer.

Características incluídas no Slide:

- Método de busca de superfícies críticas para superfícies de deslizamento circular e não circular.
- Bishop, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price, e outros métodos de análise.
- Materiais múltiplos. Anisotropia, materiais não linear Mohr-Coulomb, e outros modelos de resistência.
- Superfície piezométrica- nível freático, fatores R_u , poropressões, ou análise de infiltrações por elementos finitos.

- Análise de estabilidade de talude probabilístico.
- Carregamento externo linear, distribuído ou sísmico.
- Suportes (solo grampeado, pernos de ancoragem, geotextiles, pilas)

Na análise foi utilizado o Método de GLE/Morgenstern-Price para obter as superfícies de falhas e a superfície crítica de falha a qual provê o menor fator de segurança desenvolvida de um processo iterativo. Nesta análise, ambas as superfícies de falha, circular e por blocos, foram avaliadas.

5.4.2.1. Condições de análises

As seguintes condições foram consideradas nas análises de estabilidade:

- Os critérios de projeto usados geralmente em estruturas de terra como neste caso, uma pilha de lixiviação, são: FS mínimo estático a longo prazo igual a 1,4 e o FS mínimo pós-sismo igual a 1,1.
- A superfície freática foi modelada de acordo aos poços de monitoramento. Esta pilha apresenta alto nível freático no corpo principal e decresce em direção ao pé.
- Superfícies de falha circular foram usadas para avaliar a estabilidade através do minério da pilha. Além disso, a falha por blocos foi usada para simular a falha ao longo da geomembrana e capa de drenagem. Este é tipicamente a trajetória de falha nas pilhas.
- Dadas as características granulares dos materiais, parâmetros de resistência ao cisalhamento drenada foram usados para as condições ao longo prazo.
- Baseados na avaliação do potencial de liquefação, as análises de estabilidade pós-sismo foram executadas. O minério liquefeito foi modelado usando a resistência ao cisalhamento residual não drenado.

5.4.2.2. Resultados das análises

As figuras do Slide das análises de estabilidade para a condição estática a longo prazo e para a condição pós-sismo, feitas nas 4 seções A, B, C e D, são

apresentadas a seguir e depois a Tabela 5.14 resume os fatores de segurança encontrados para cada caso.

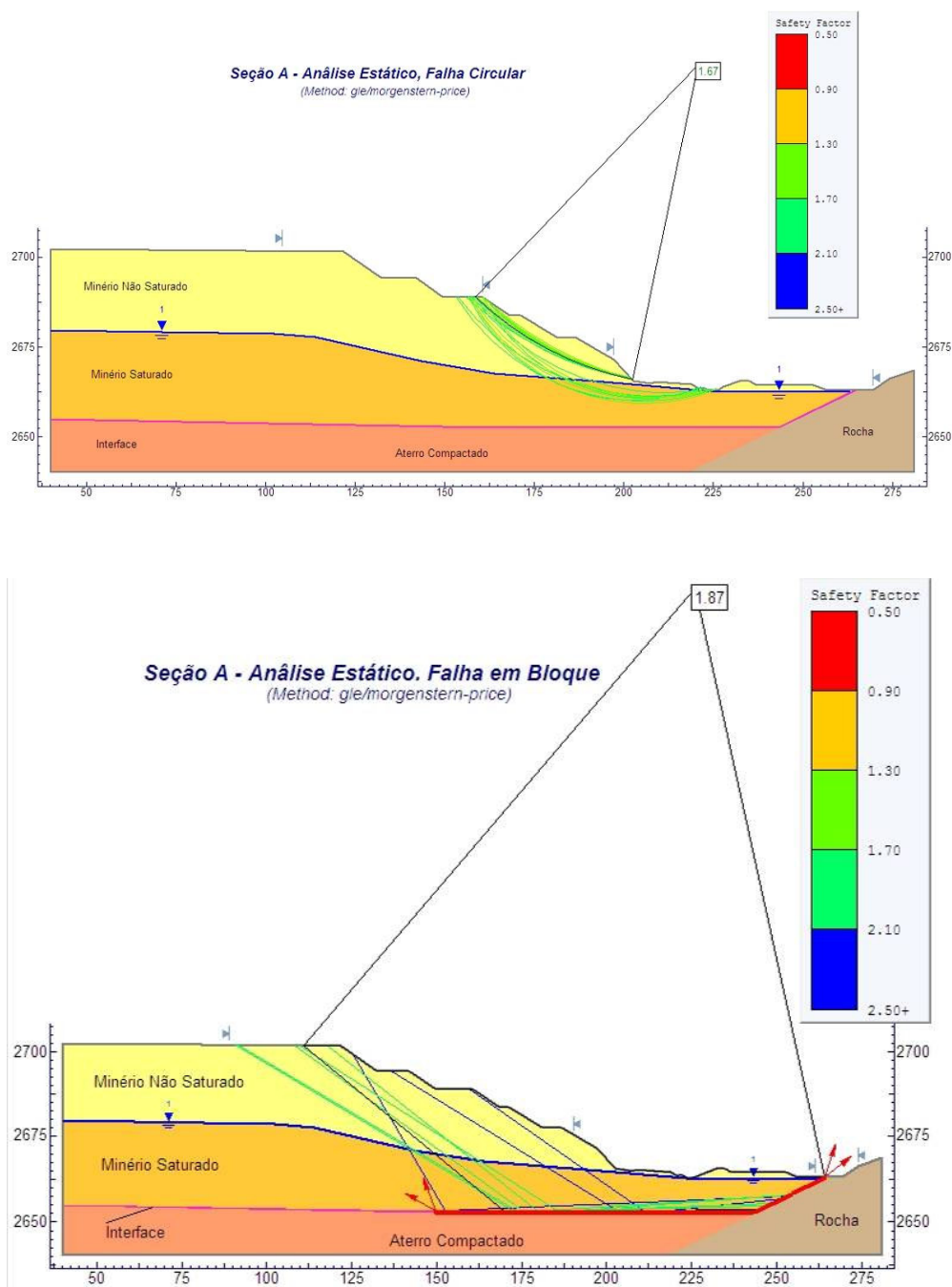


Figura 5.8 - Análise estática na Seção A.

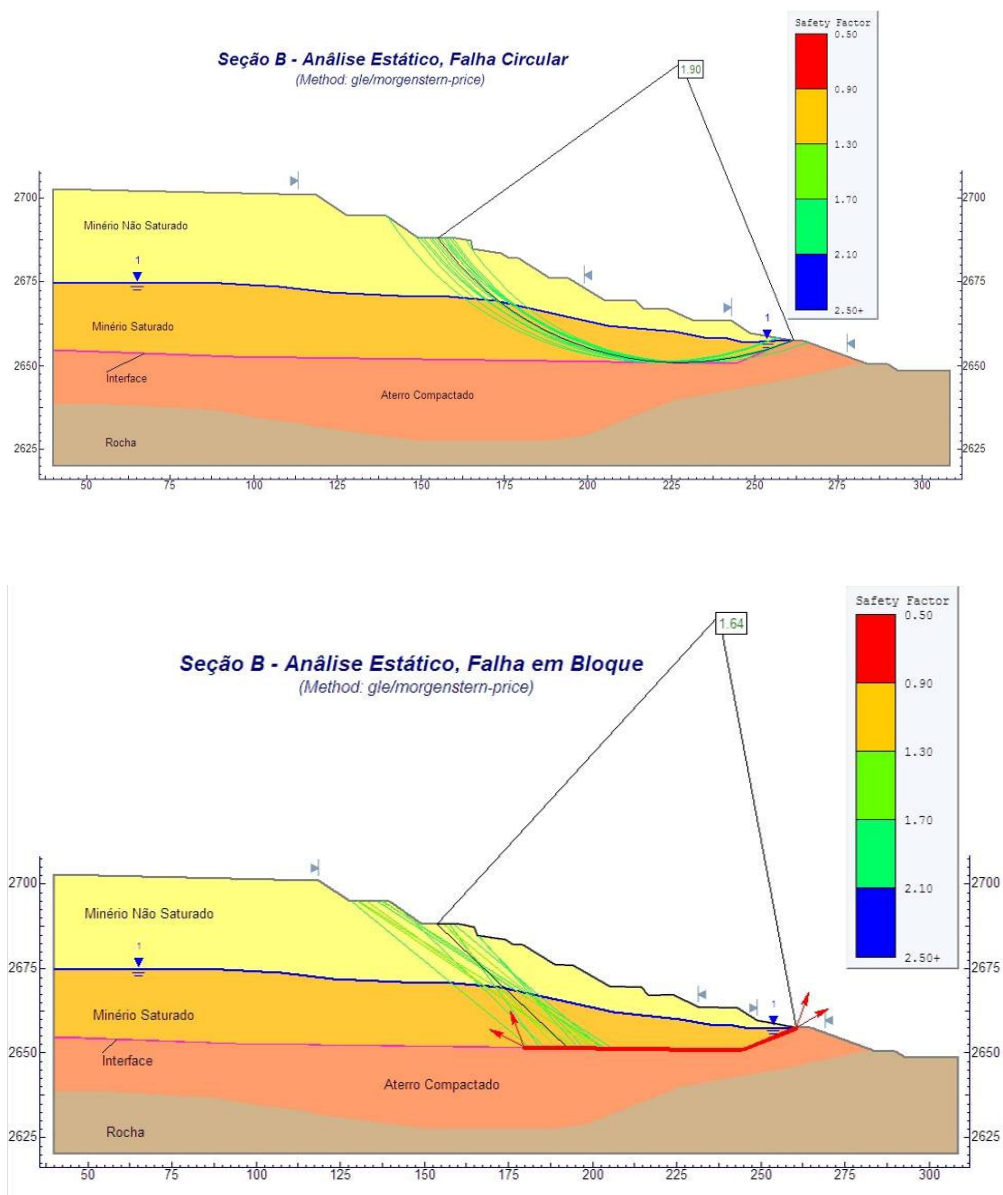


Figura 5.9 - Análise estática na Seção B.

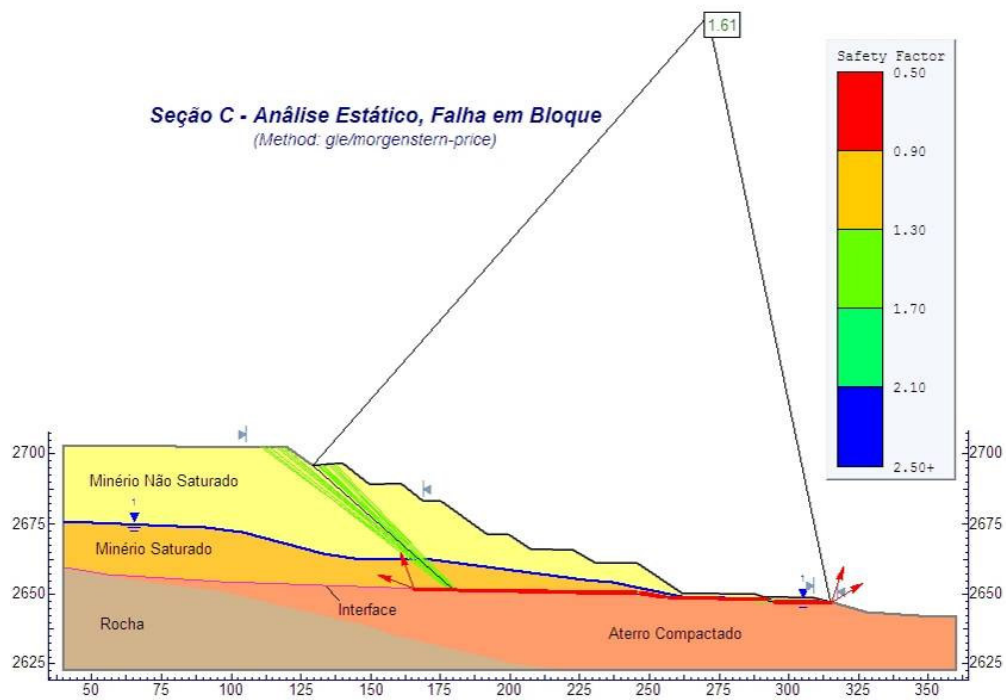
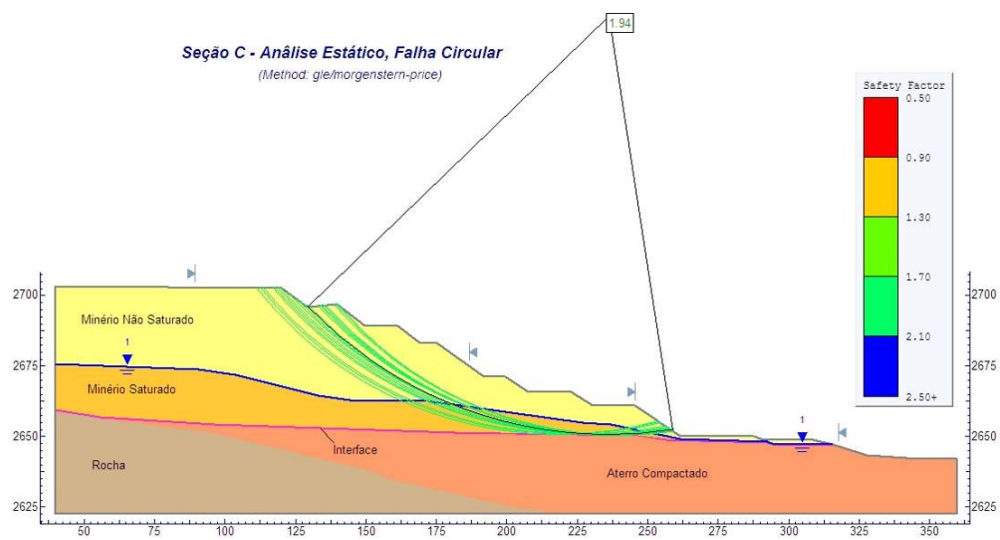


Figura 5.10 - Análise estática na Seção C.

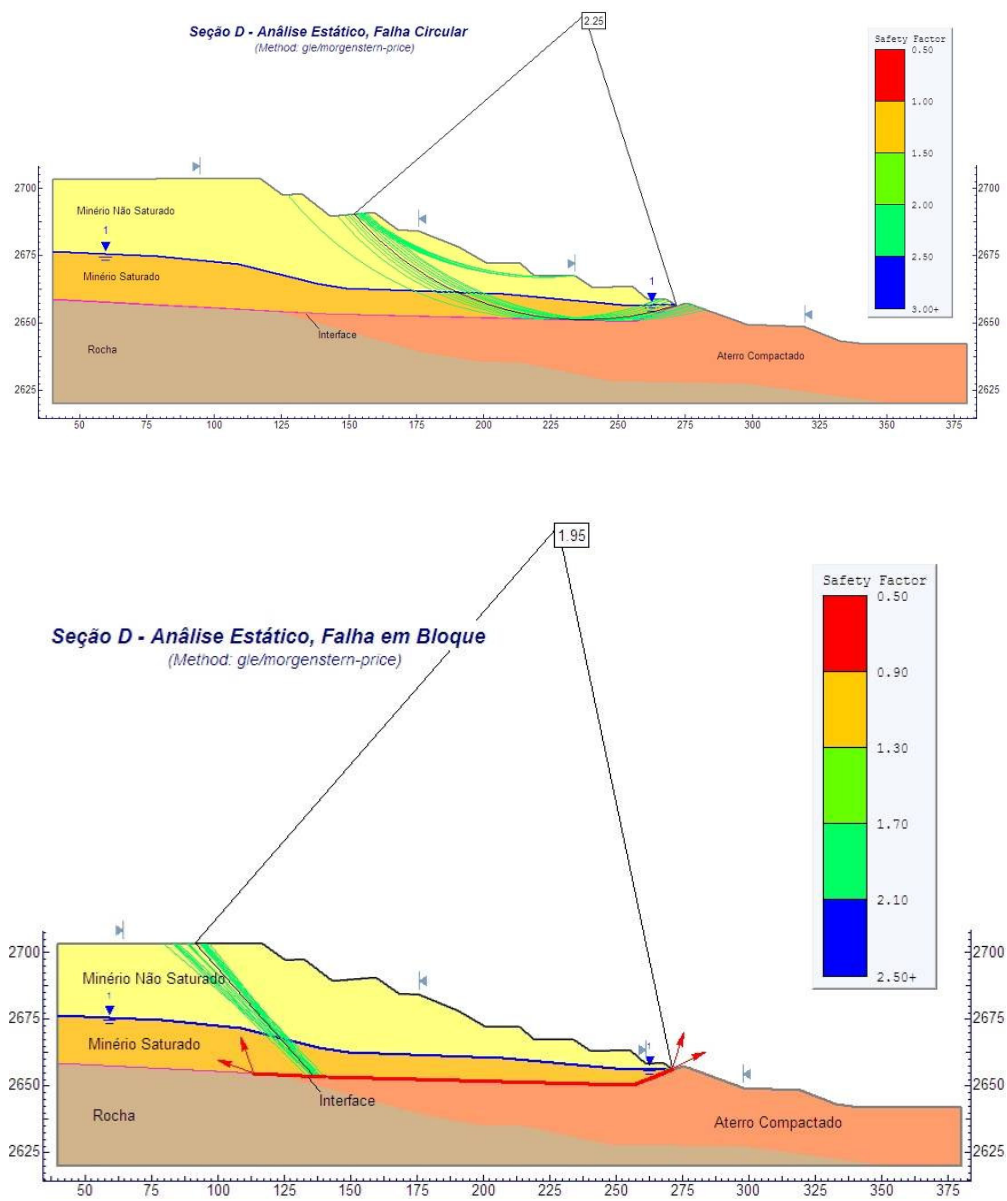


Figura 5.11 - Análise estática na Seção D.

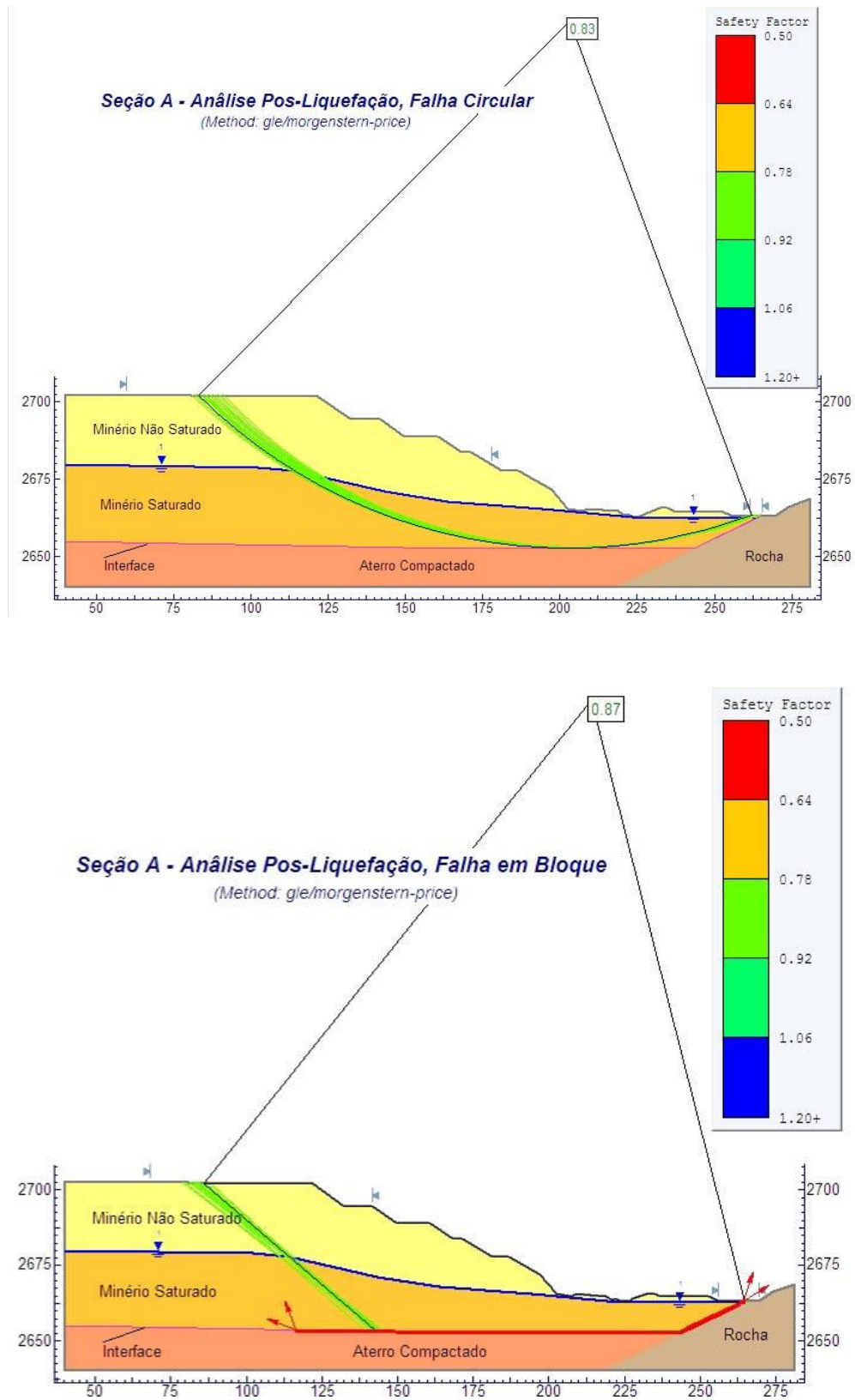


Figura 5.12 - Análise pós-liquefação na Seção A.

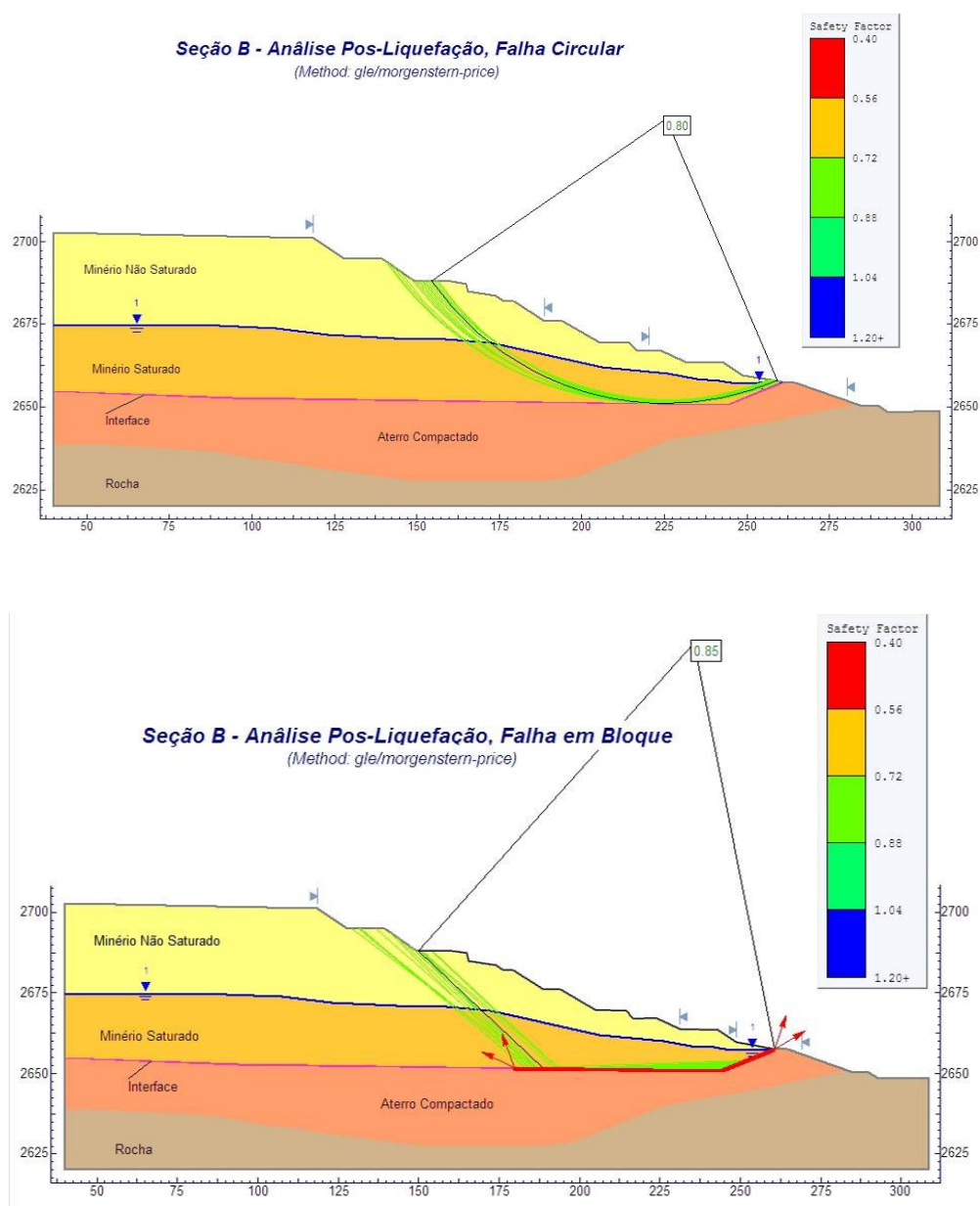


Figura 5.13 - Análise pós-liquefação na Seção B.

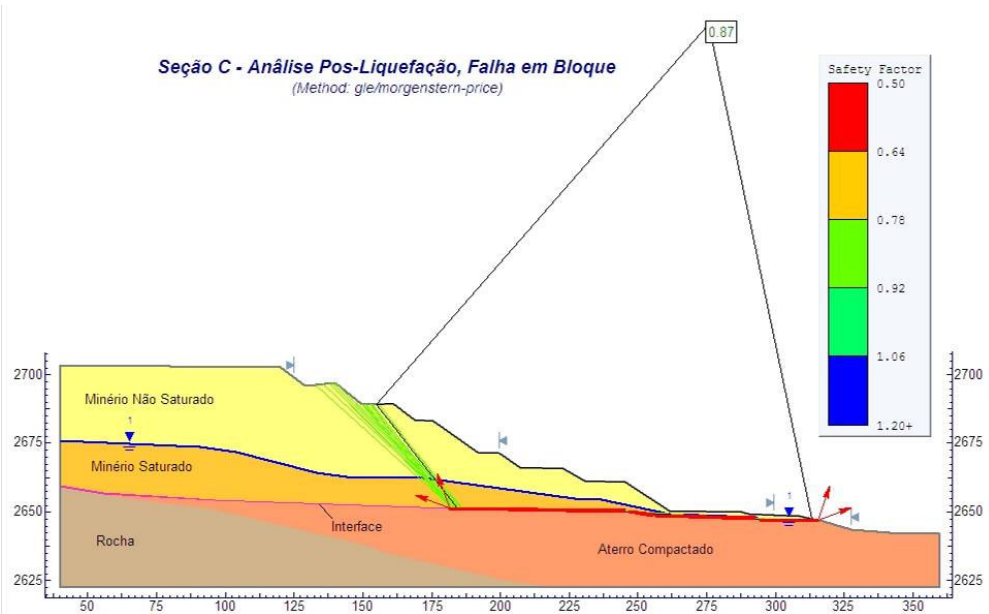
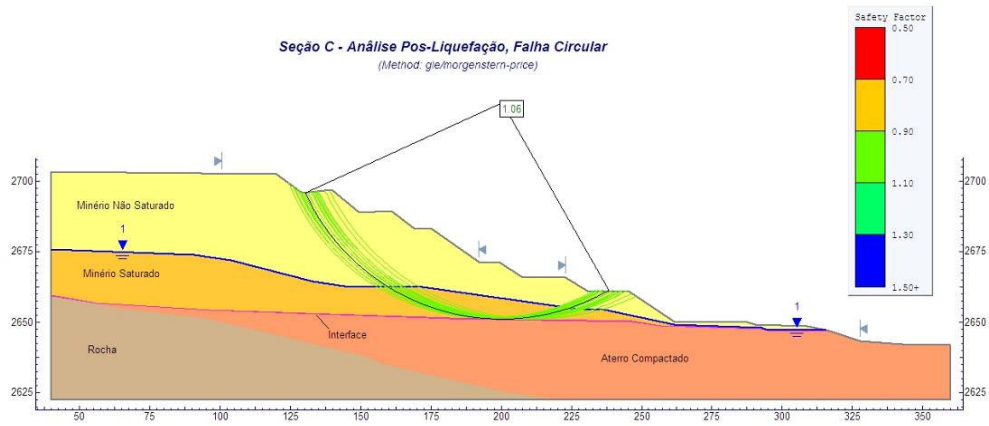


Figura 5.14 - Análise pós-liquefação na Seção C.

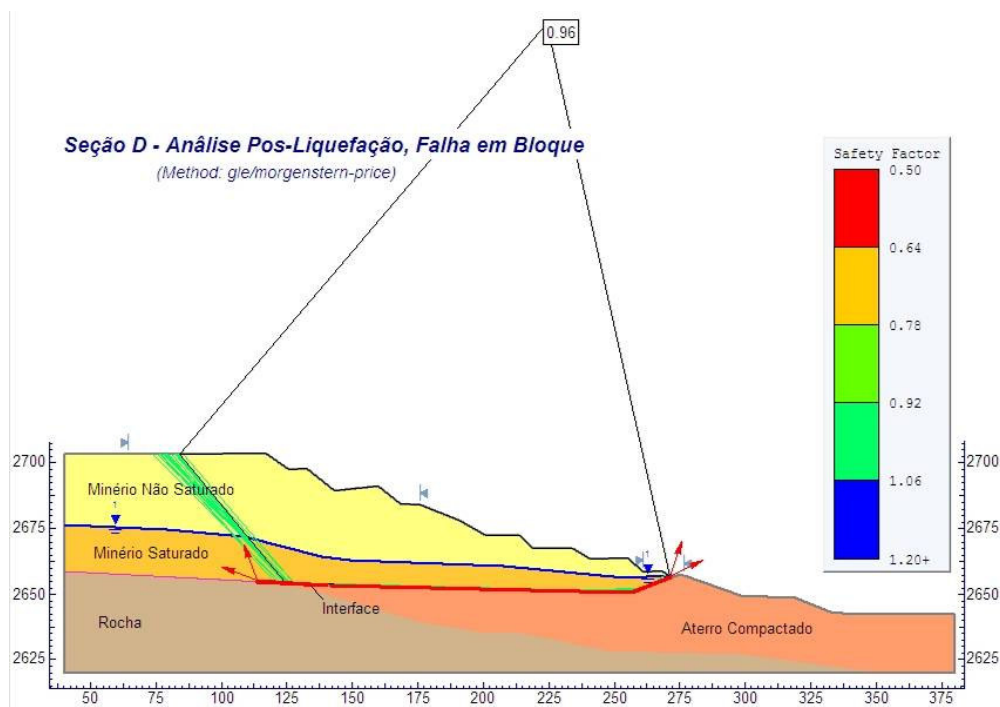
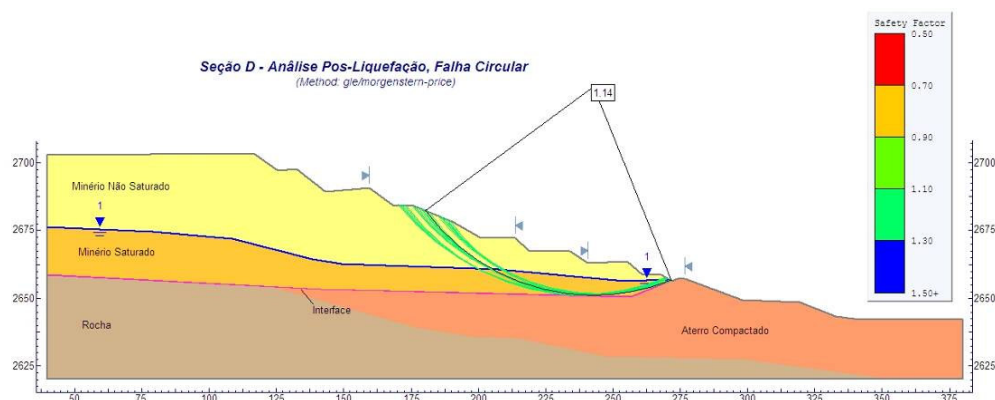


Figura 5.15 - Análise pós-liquefação na Seção D.

Tabela 5.14 – Fatores de segurança das análises de estabilidade

Seção	Caso	Estático	Potencial de Liquefação Pós-sismo ($S_{ur}/\sigma' = 0.15$)
A	Circular	1,67	0,83
	Bloco	1,87	0,87
B	Circular	1,90	0,80
	Bloco	1,64	0,85
C	Circular	1,94	1,06
	Bloco	1,61	0,87
D	Circular	2,25	1,14
	Bloco	1,95	0,96

Como pode ser observado na Tabela 5.14, a análise estática indica uma condição estável da pilha, sendo o fator de segurança menor encontrado de 1,61 para a seção C. As análises pós-sismo considerando a análise de potencial de liquefação onde o minério saturado esta liquefazendo, indica fatores de segurança inferiores ao admissível de 1,1, só uma análise com superfície de ruptura que passa pelo minério dá valor de 1,14 (seção D).

5.4.3. Modelagem com o FLAC

A análise de estabilidade foi realizada com o Flac e não com o Flac/Slope, devido à maior versatilidade de programar as condições reais do projeto.

Para criar a malha, utilizam-se os critérios do modo dinâmico do FLAC que serão explicados no item da análise dinâmica, para utilizar a mesma malha e poder fazer as comparações pertinentes. Primeiro inicializou-se o talude com as condições iniciais e o cálculo das tensões iniciais e assim criar um arquivo que pode ser reiniciado posteriormente mudando as condições de contorno e/ou as propriedades de materiais para os dois casos de análise de estabilidade: estático e pós-sismo (inclusive a análise dinâmica).

A malha inicial foi de 133 x 36 zonas quadradas, a qual foi modificada logo como os comandos “generate” e os modelos “null” (que apaga as zonas denominadas como null) para conseguir a geometria real da pilha. Também foi utilizado um elemento de interface para modelar a geomembrana (Figura 5.16).

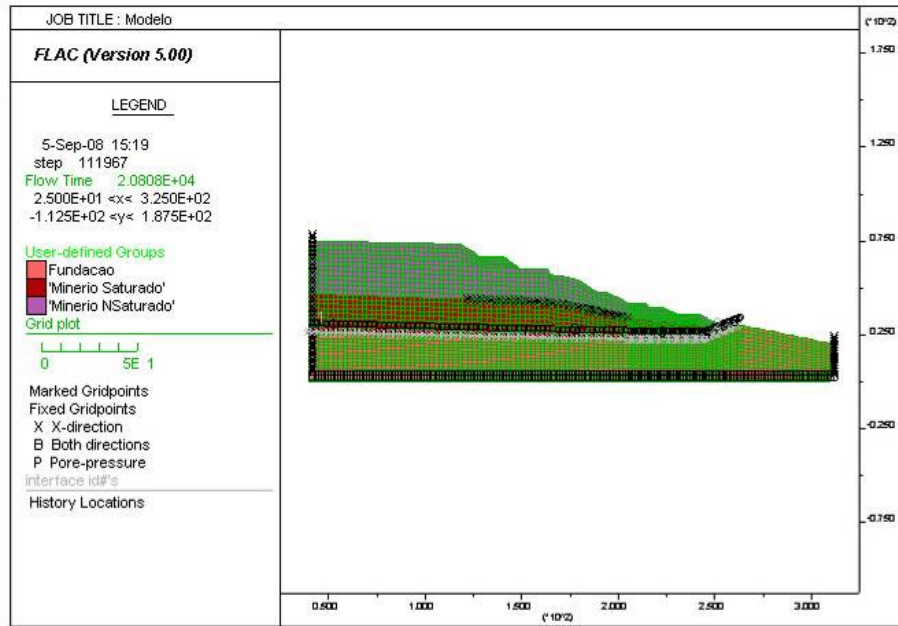


Figura 5.16 - Geometria e malha criada para a Pilha de Lixiviação.

O modelo constitutivo usado foi o Mohr-Coulomb para todas as zonas não nulas e as propriedades foram as mesmas definidas anteriormente para cada um dos materiais da barragem (ver tabela 5.13), com exceção dos valores da coesão e da resistência a tração que são dados valores altos (10^{10} Pa) para prever falha no talude durante a inicialização das tensões gravitacionais no modelo.

O módulo de cisalhamento G_s e o módulo de compressibilidade volumétrica B , foram considerados variáveis para cada elemento. Inicialmente se deu valores constantes médios de G_s e B para cada material para o cálculo inicial das tensões σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} . Uma vez obtidas as tensões em cada elemento, calculou-se G_s e B com a equação empírica $G_{\max} = 21,7K_2P_a[\sigma_m/P_a]^{0.5}$ e com as equações elásticas, para novamente calcular as tensões iniciais estáticas.

Para a determinação da superfície freática na condição estática, as condições mecânica e dinâmica são desligadas (*set mech = dyn = off*) deixando o fluxo ativado *flow = on*. Com as condições de contorno e de poropressões é determinada a superfície freática e poropressões, como apresentado na Figura 5.17 e 5.18. Para considerar a fundação não saturada, já que na base da pilha encontra-se uma geomembrana, adotou-se um valor de zero para a permeabilidade do material da fundação. Utilizou-se uma função fish, incluída no FLAC (*qratio.fis*) para atingir a condição permanente de fluxo. O *qratio.fis* calcula a diferença absoluta entre os

valores de fluxo que entra e sai do sistema e o divide pela média desses dois valores.

No seguinte estágio, o cálculo de fluxo é desligado e o modo mecânico é ativado para o cálculo das tensões iniciais (*set mech = on, flow = off*). O cálculo da mudança nas tensões totais é feito automaticamente pela especificação do comando *CONFIG ats*, no início na análise (Figura 5.19 e 5.20).

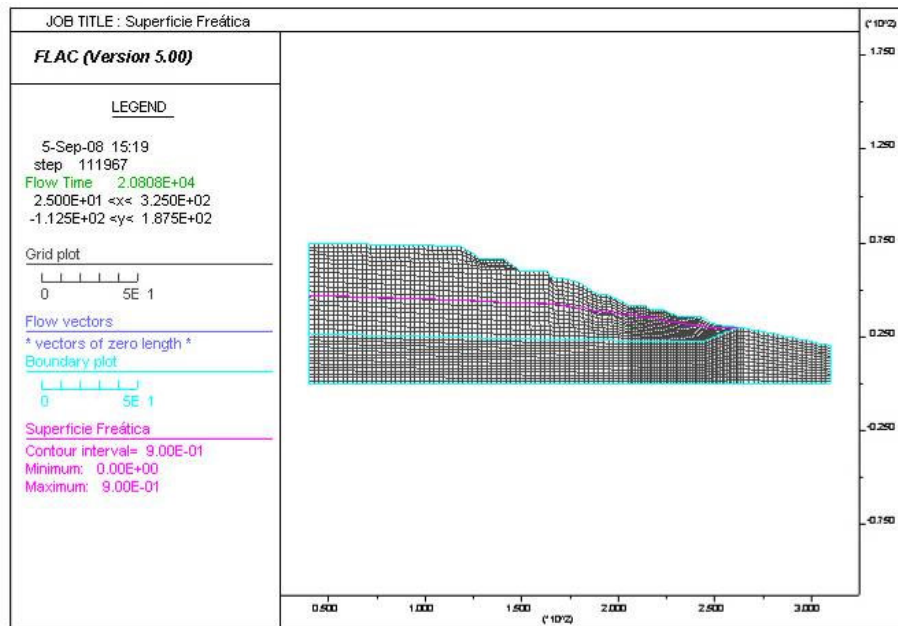


Figura 5.17 - Superfície freática na condição estática, modelo Mohr-Coulomb.

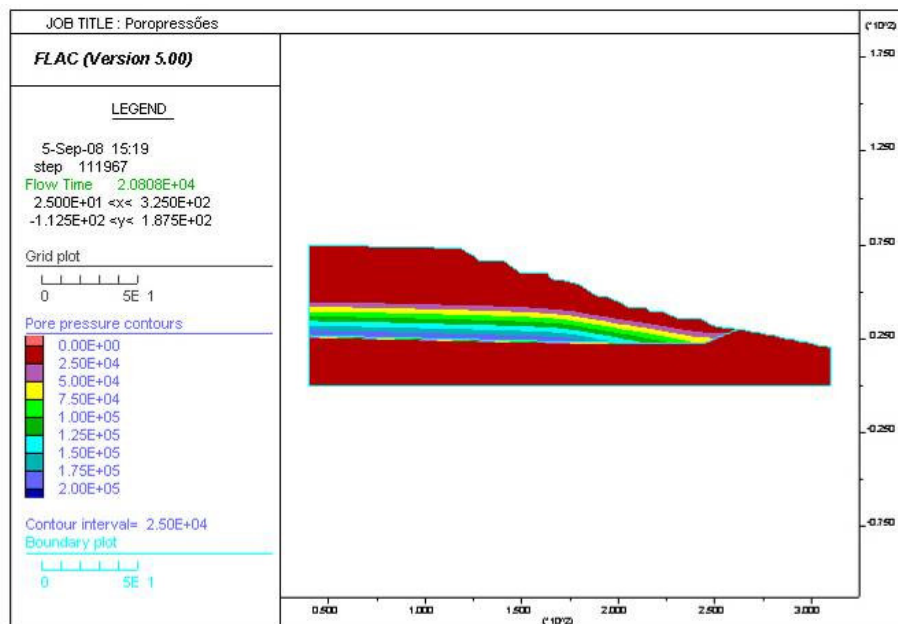


Figura 5.18 - Poropressão na condição estática, modelo Mohr-Coulomb.

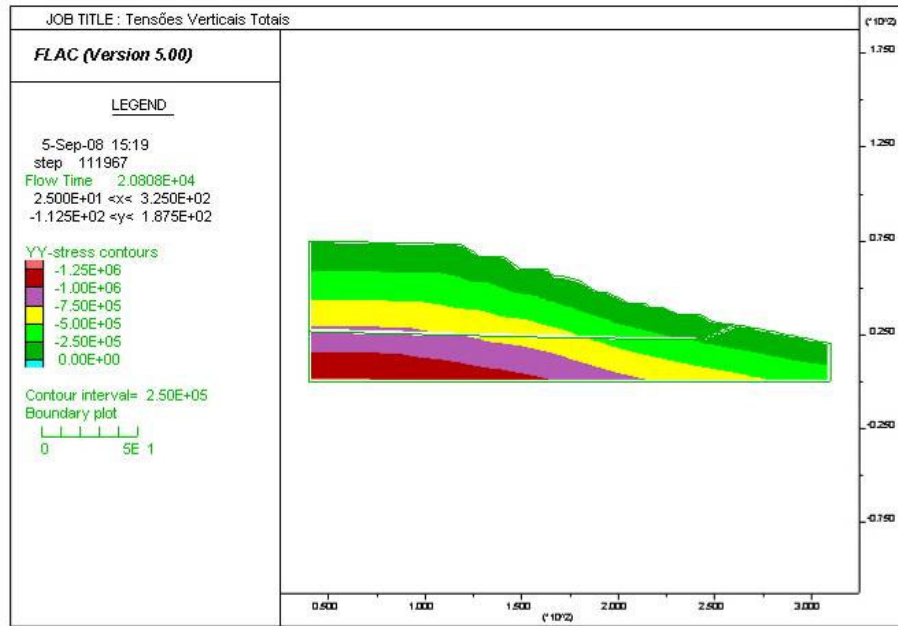


Figura 5.19 - Tensões Verticais Totais na condição estática, modelo Mohr-Coulomb.

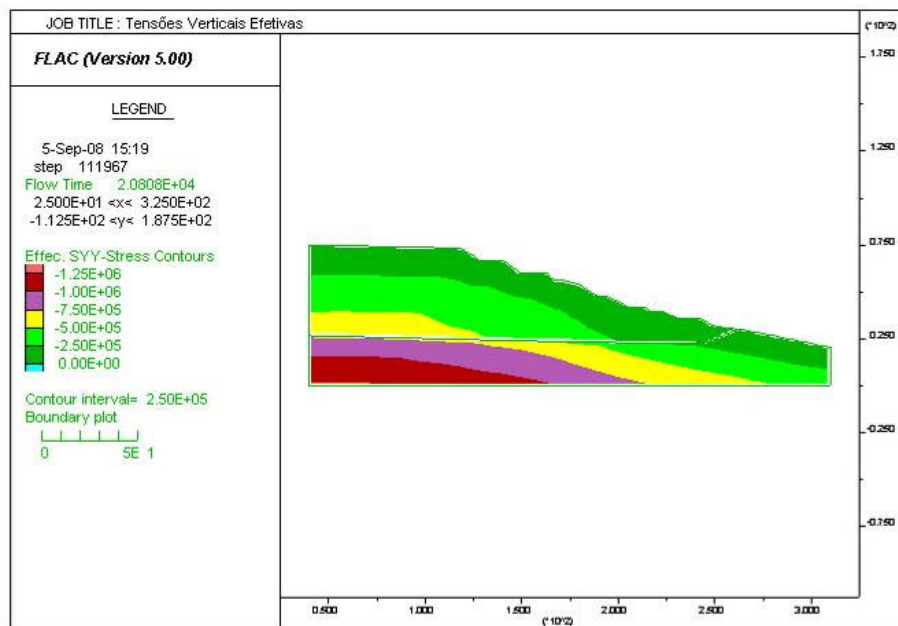


Figura 5.20 - Tensões Verticais Efetivas na condição estática, modelo Mohr-Coulomb.

Análise Estática

Uma vez determinadas as tensões gravitacionais ou iniciais, determinou-se o fator de segurança FS, na condição estática, assinando os verdadeiros valores da coesão. O FS encontrado de 1,93 indica uma condição estável do talude e desenhando as máximas razões de tensões cisalhantes, pode-se definir a superfície de falha predominante (Figuras 5.21 e 5.22).

As figuras de deslocamentos horizontais e verticais (Figuras 5.23 e 5.24) indicam valores pequenos de deslocamentos, sendo o deslocamento vertical maior no ultimo banco, devido à alta inclinação desse banco.

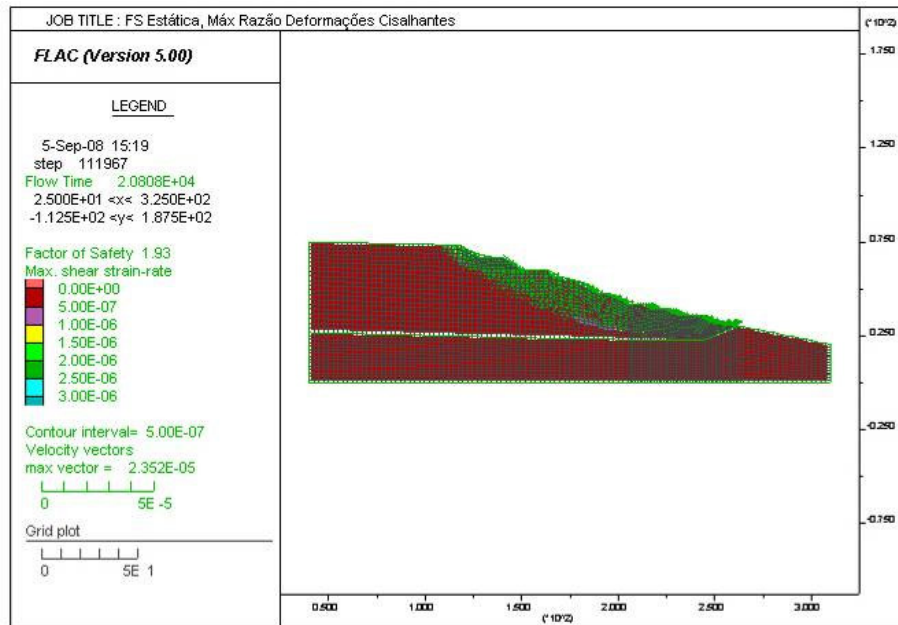


Figura 5.21 - FS estática = 1.93, e máxima razão de tensão cisalhante atuante.

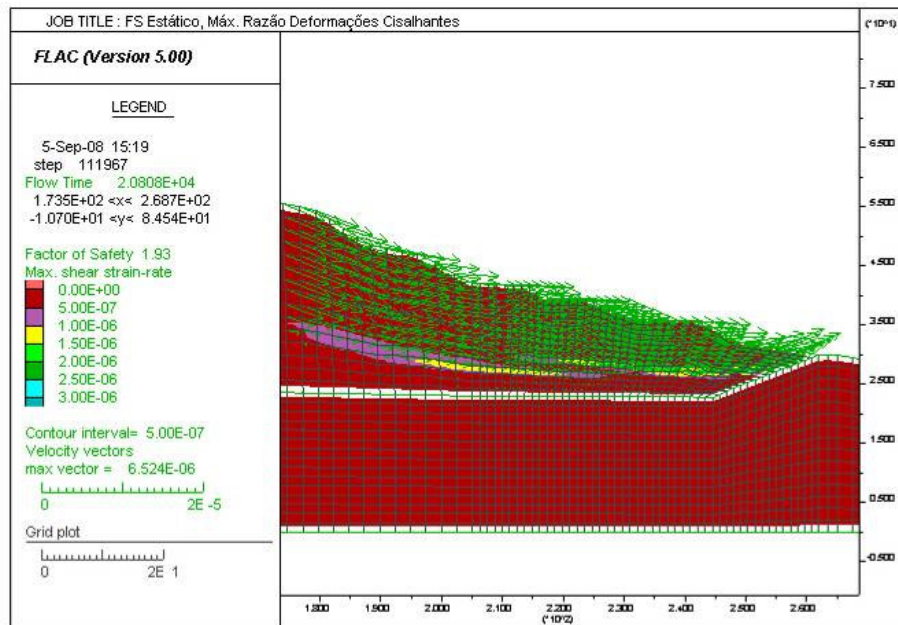


Figura 5.22 - Máxima razão de tensão cisalhante atuante, zoom.

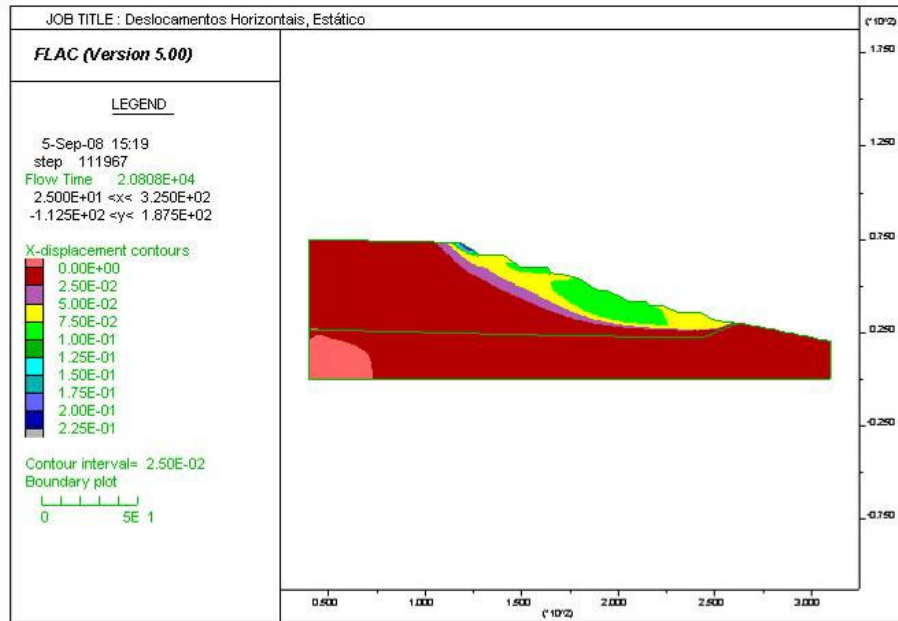


Figura 5.23 - Deslocamentos horizontais na análise estática, máx. de 0,025m.

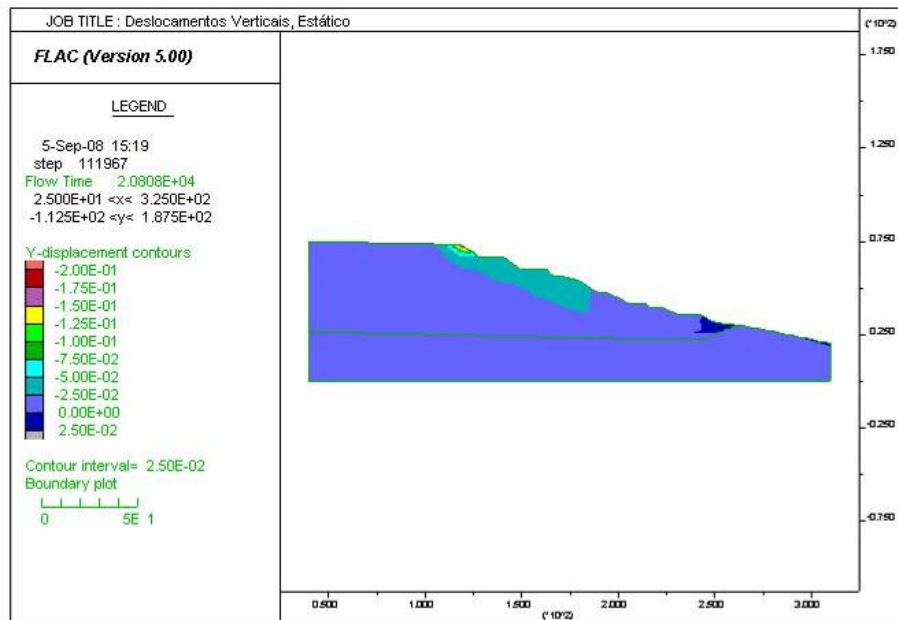


Figura 5.24 - Deslocamentos verticais na análise estática, máx. de 0,200m (na crista).

Utilizando o método de grandes deformações “*large*” na análise estática, também indica que esta estrutura é estável (Figura 5.25).

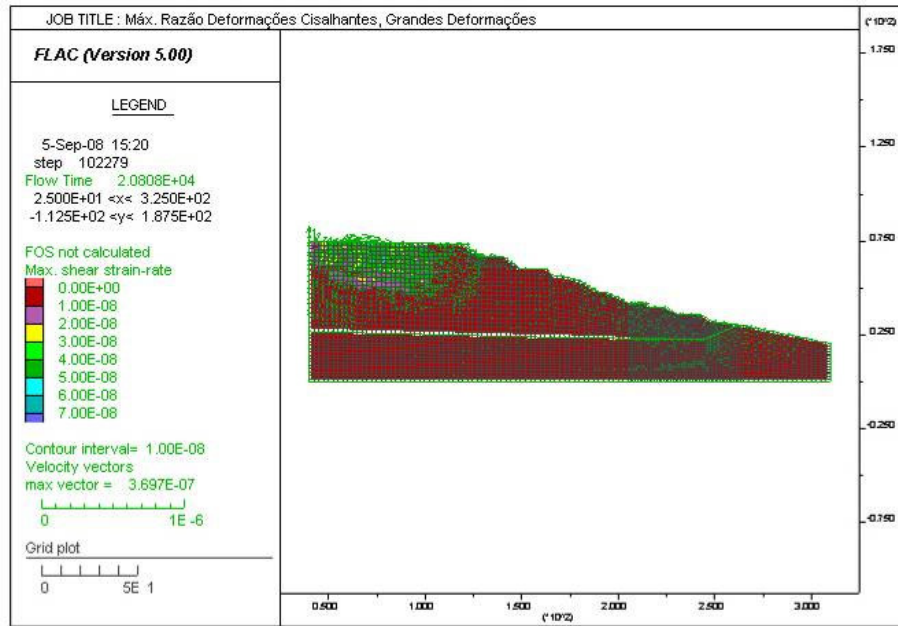


Figura 5.25 - Análise de grandes deformações, máx. razão de deformação cisalhante.

Análise pós-sismo

Tendo como premissa, em base das análises de potencial de liquefação, que todo solo saturado liquefaz devido ao carregamento sísmico, as análises pós-sismo serão conduzidas com parâmetros de resistência residual para o minério saturado, todo sempre em condição estática.

O fator de segurança encontrado foi de 0,63, indicando uma condição instável do talude e o desenho das máximas razões de tensões cisalhantes permite identificar a superfície de falha predominante (Figuras 5.26 e 5.27).

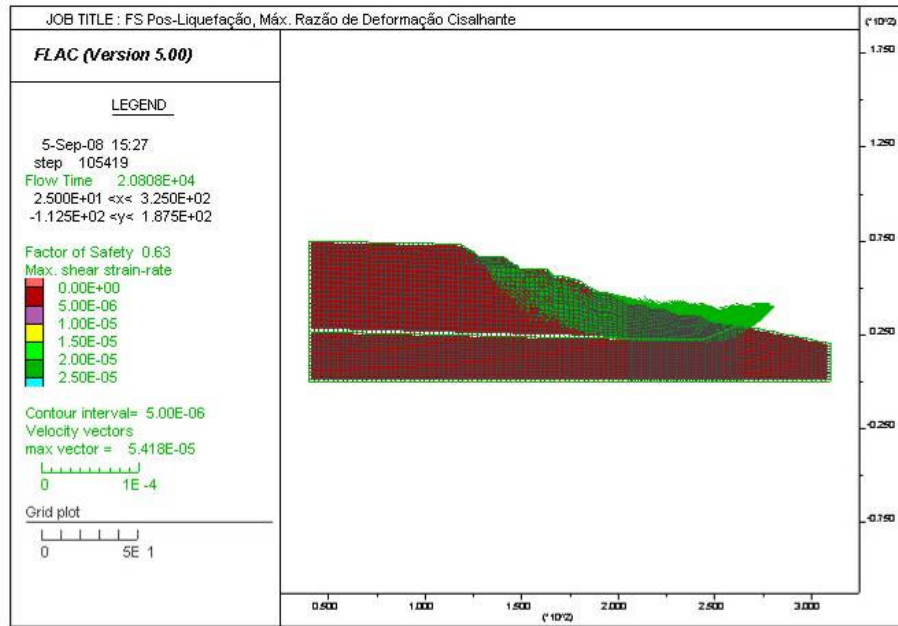


Figura 5.26 - FS pós-sismo = 0,63 e máxima razão de tensão cisalhante atuante.

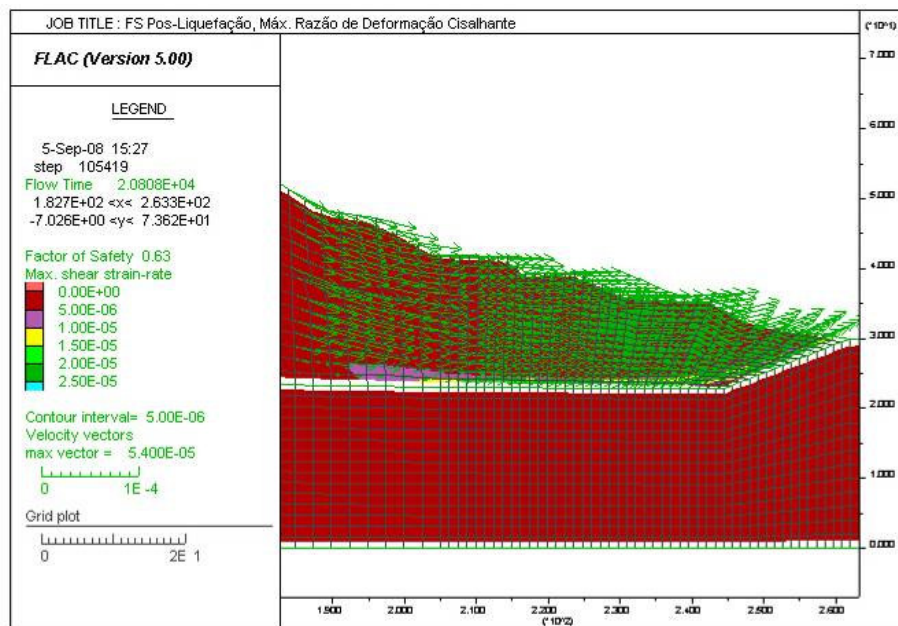


Figura 5.27 - Máxima razão de tensão cisalhante atuante, zoom, pós-sismo.

Nas figuras seguintes pode-se apreciar como a malha é deformada, e assim como nos gráficos de deslocamentos, observa-se que a malha é deslocada para abaixo na zona da crista e o pé da pilha é levantada.

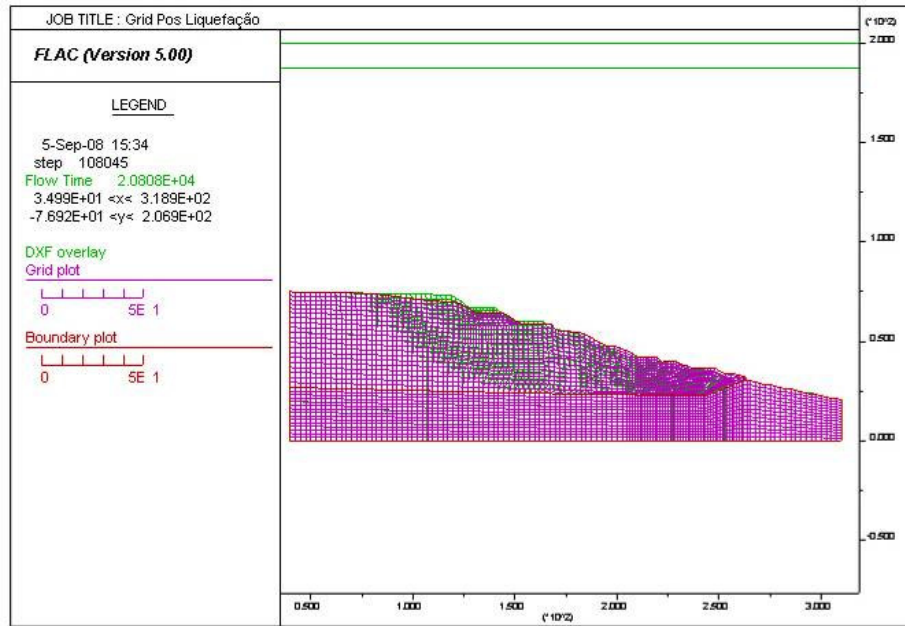


Figura 5.28 - Malha deformada na análise pós-sismo.

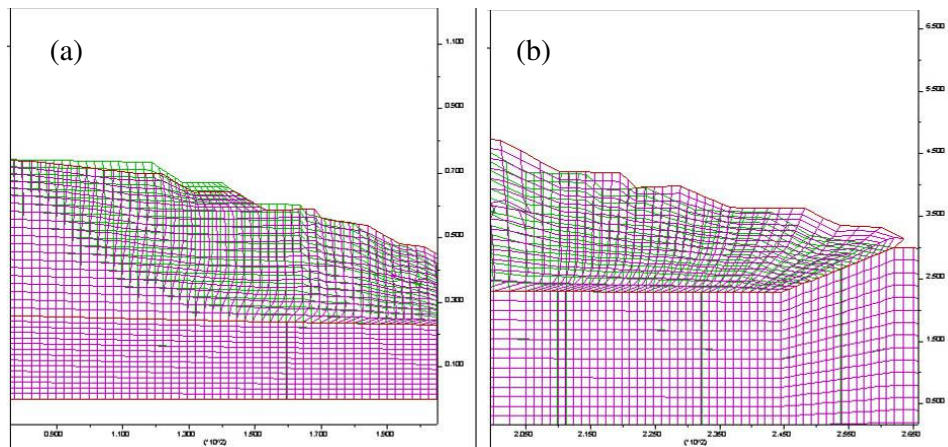


Figura 5.29 - Malha deformada pós-sismo, zoom da crista (a) e do pé da pilha (b)

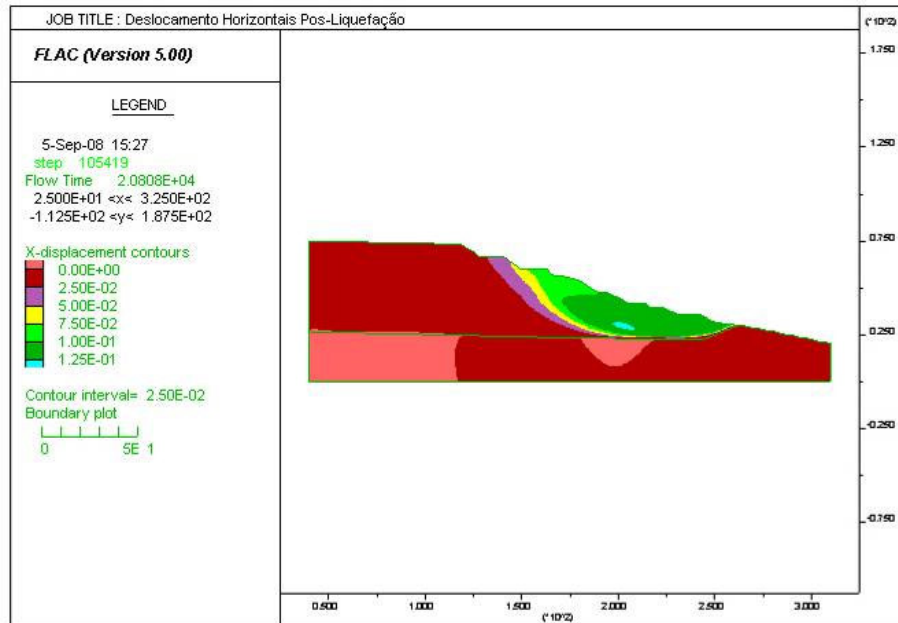


Figura 5.30 - Deslocamentos horizontais pós-sismo, máx. de 0,125m.

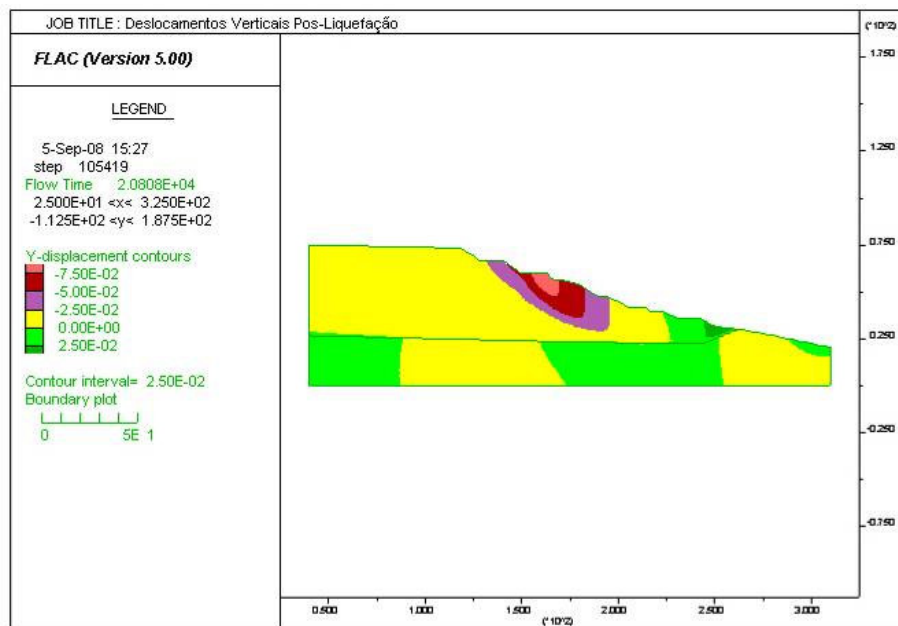


Figura 5.31 - Deslocamentos verticais pós-sismo, máx. de 0,075m.

Paralelamente à determinação do fator de segurança, realizou-se uma análise de grandes deformações, com a qual se obtiveram os mesmos resultados de instabilidade da pilha, tendo que ser terminado a rodada pela grande distorção da malha, como indicado pelas Figuras 5.32 até 5.35, com deslocamentos de até 5m no eixo horizontal e 3m no eixo vertical.

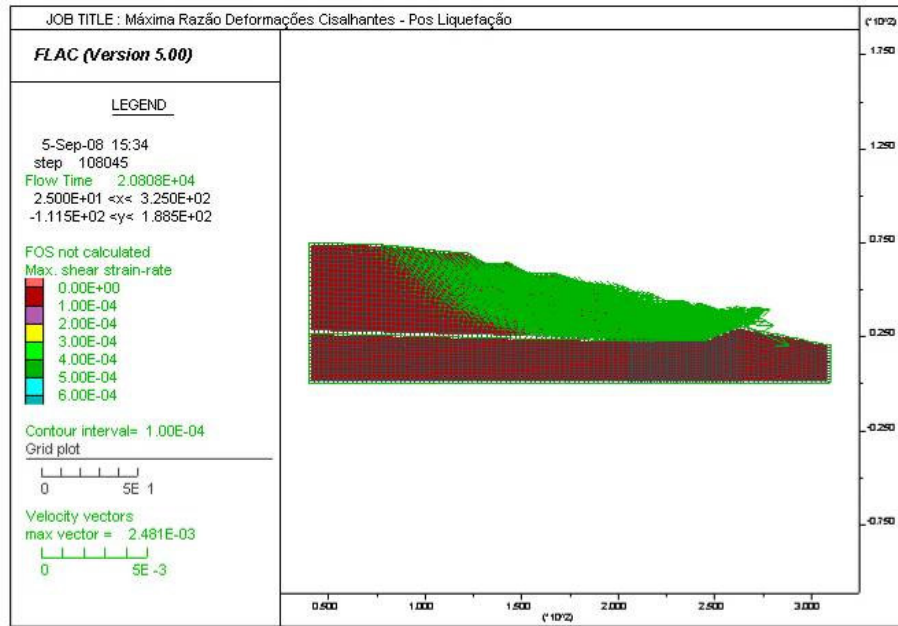


Figura 5.32 - Análise de grandes deformações, máx. razão de deformação cisalhante.

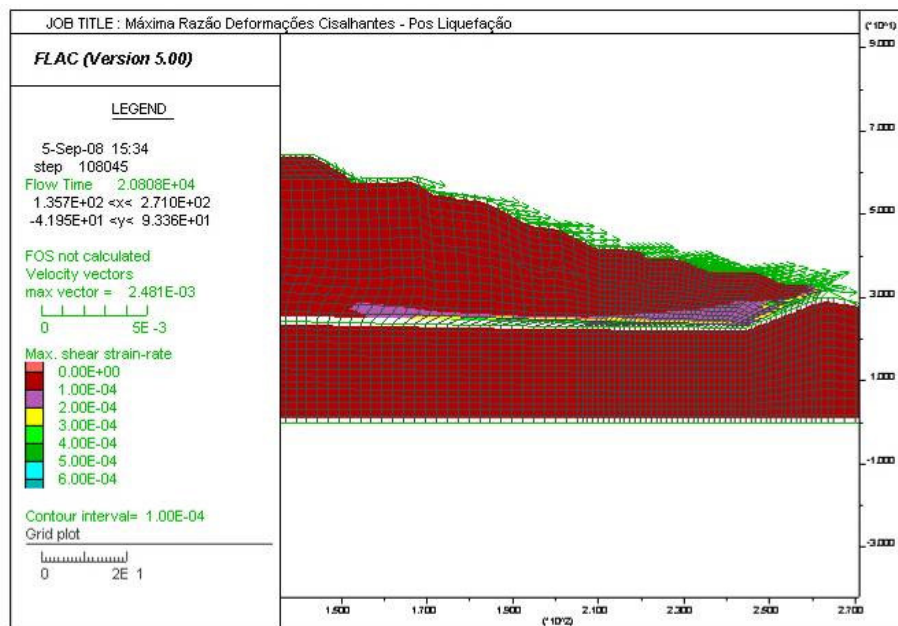


Figura 5.33 - Análise de grandes deformações, máx. razão de deformação cisalhante, zoom.

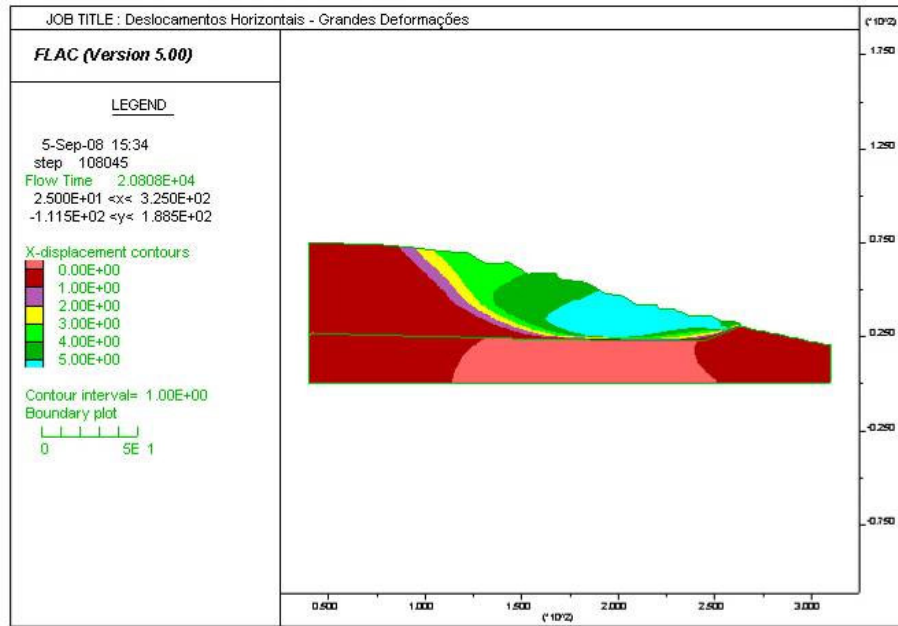


Figura 5.34 - Deslocamentos horizontais pós-sismo, máx. = 5m, grandes deformações.

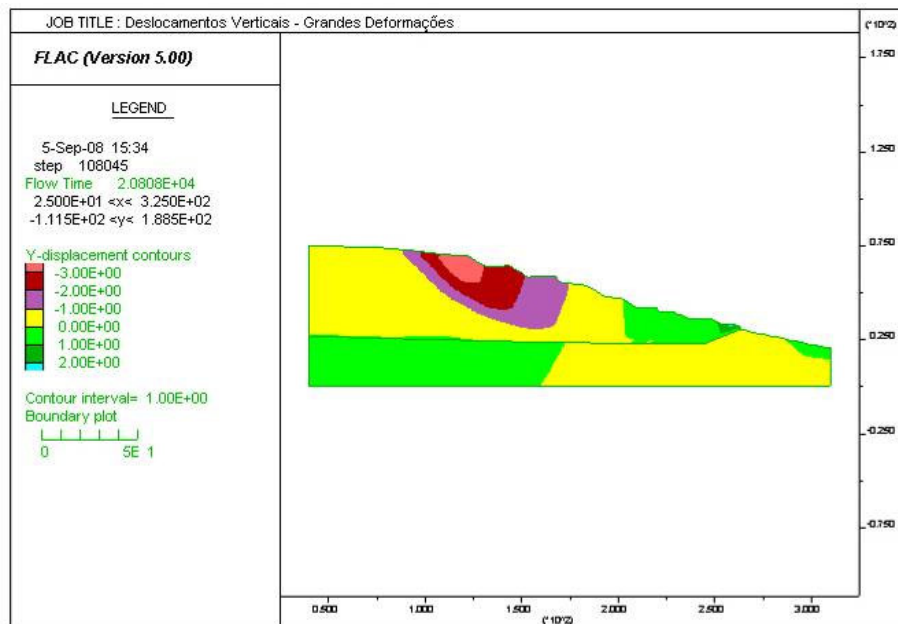


Figura 5.35 - Deslocamentos verticais pós-sismo, máx. = 3m, grandes deformações.

5.5.

Análise dinâmica do fenômeno de liquefação na pilha de lixiviação

A análise dinâmica foi dirigida considerando o método totalmente não linear usando o programa computacional FLAC 2D - Fast Lagrangian Analysis of Continua (Itasca, 2005). Os modelos de Find (incluído na livreria do FLAC) e do

UBCSAND (incorporado para este análise no FLAC) foram usados para a avaliação dinâmica da pilha.

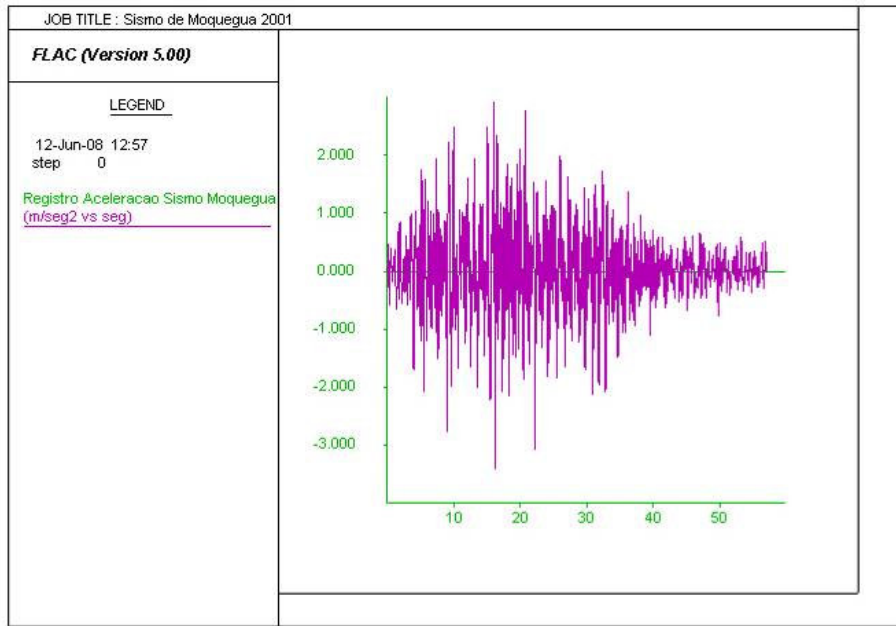
5.5.1. Modelagem

Descrever-se-á a continuação a seqüência de operações realizadas para a análise dinâmica, começando-se por uma análise estática para inicializar o talude (condições iniciais e cálculo das tensões iniciais) e criar um arquivo que pode ser reiniciado posteriormente mudando as condições de contorno e/ou as propriedades dos materiais para os diferentes casos de análise.

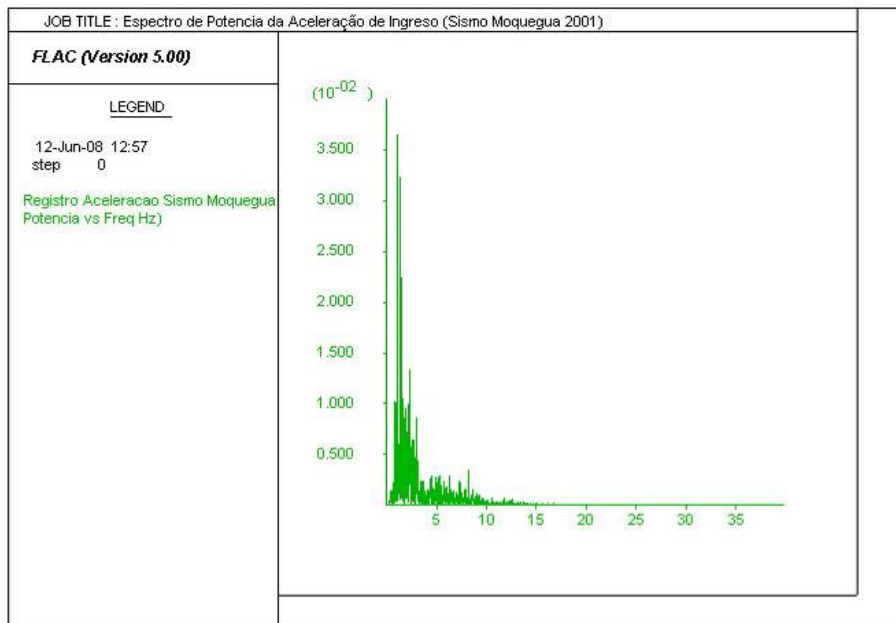
Primeiro, dever-se-á escolher o tamanho da malha. A Figura 5.36(a) mostra o registro tempo historia da aceleração do sismo de Moquegua (2001). Para realizar a análise dinâmica, o registro tempo historia do sismo que será usado como movimento sísmico de ingresso na base (fundação rochosa) foi devidamente escalado para a aceleração pico horizontal para um período de retorno de 500 anos do projeto, isto é, 0,35g. A frequência maior supera os 30 Hz, como pode ser apreciado na Figura 5.36(b) com ajuda da função fish do FLAC, *FFT.FIS*. A integração dessa gráfica (Figura 5.36(c)) mostra que aproximadamente o 96% das frequências são menores ou iguais a 10 Hz.

Filtrando o registro tempo historia para uma frequência de 10 Hz e usando as equações 4.2a e 4.2b e os dados de velocidades de cisalhamento de onda da Tabela 5.7, encontrou-se os tamanhos dos elementos da malha (altura) procurando-se elementos o mais quadrados possível:

- Minério não saturado: $\Delta l = 2,5\text{m}$.
- Minério saturado: $\Delta l = 3,5\text{m}$.
- Aterro compactado: $\Delta l = 6,5\text{m}$.



(a)



(b)

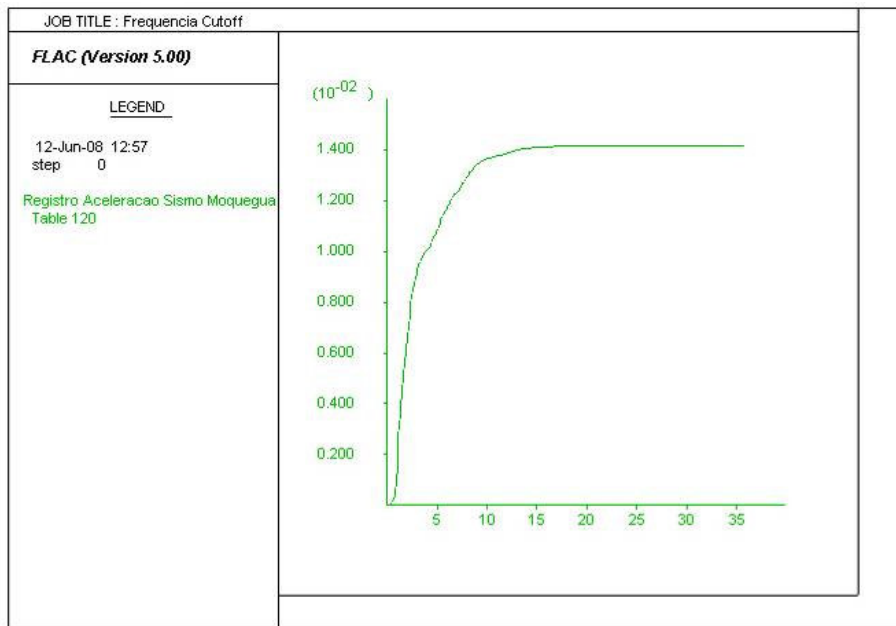


Figura 5.36 - Sismo de Moquegua, 2001.

(c)

A malha inicial foi de 133 x 36 zonas quadradas, a qual foi modificada logo como os comandos “generate” e os modelos “null” (que apaga as zonas denominadas como null) para conseguir a geometria real da pilha. Também foi utilizado um elemento de interface para modelar a geomembrana (ver Figura 5.16).

Para o modelo de Finn, usaram-se os arquivos criados para as análises de estabilidade, até o cálculo das tensões efetivas iniciais, usando-se o modelo constitutivo de Mohr-Coulomb para todas as zonas não nulas. Para a metodologia com o UBCSAND foi usado desde o início os parâmetros do modelo do UBCSAND para o minério ($(N_1)_{60}$ do SPT, ϕ_{cv} e os outros parâmetros determinados por correlações como explicado no item 3.2.2), enquanto que para a fundação foi designado o modelo Mohr-Coulomb.

Similarmente como foi explicado anteriormente para o cálculo das tensões iniciais na análise estática, nos dois métodos, no Finn e no UBCSAND, o módulo de cisalhamento G_s e o módulo de compressibilidade volumétrica B , foram considerados variáveis para cada elemento.

Para a determinação da superfície freática na condição estática, as condições mecânica e dinâmica serão desligadas (*set mech = dyn = off*) deixando o fluxo ativado *flow = on*. Com as condições de contorno e de poropressões será determinada a superfície freática e poropressões. No modelo UBCSAND, a

permeabilidade da fundação foi muito baixa ($1e-15$ m/s) para considerar a fundação não saturada. Para fazer uma comparação das metodologias que o FLAC oferece para atingir a condição permanente de fluxo, no modelo do UBCSAND usou-se o *sratio*, razão de fluxo desbalanceado, igual a 0,01, variável similar à função fish *qratio* (usado no modelo de estático e que será usado com o modelo Finn) só que constante.

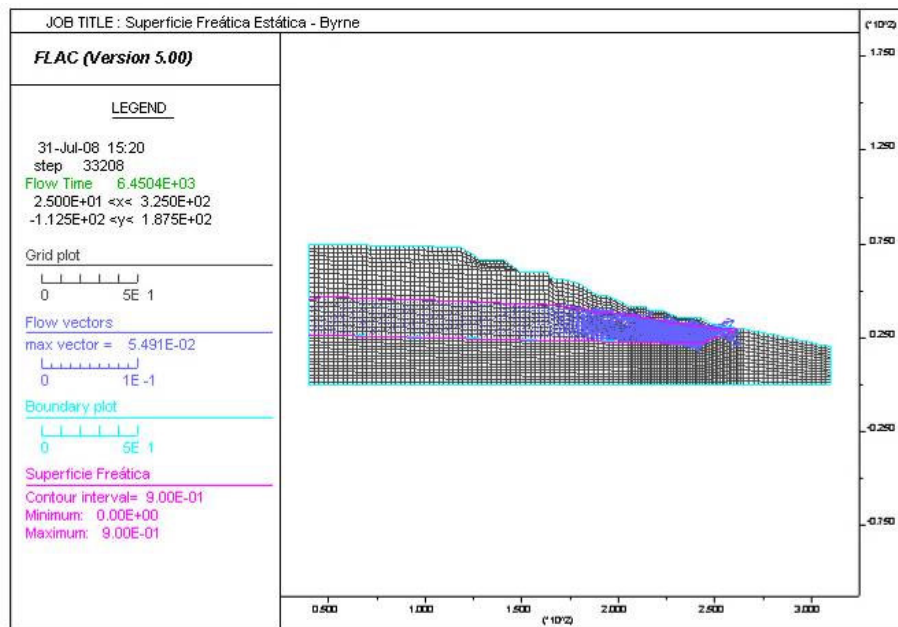


Figura 5.37 - Superfície freática na condição estática, modelo UBCSAND.

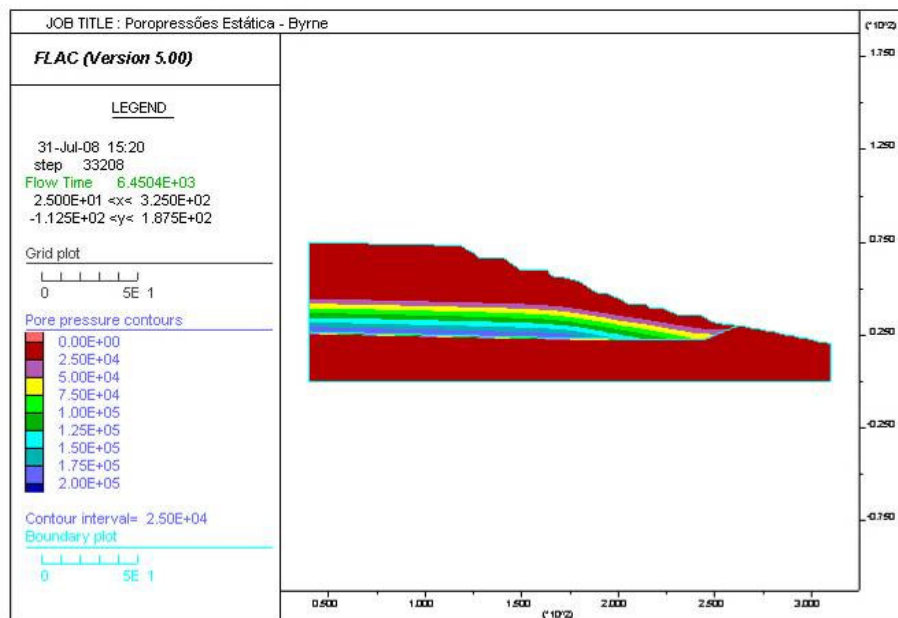


Figura 5.38 - Poropressão na condição estática, modelo UBCSAND.

Comparando os dois resultados da superfície freática e cálculo das poropressões, no modelo de Mohr-Coulomb e UBCSAND, praticamente são os mesmos nos dois casos.

No seguinte estágio, o cálculo de fluxo é desligado e o modo mecânico é ativado para o cálculo das tensões iniciais (*set mech = on, flow = off*). O cálculo da mudança nas tensões totais é feito automaticamente pela especificação do comando *CONFIG ats*, no início na análise (Figura 5.39 e 5.40).

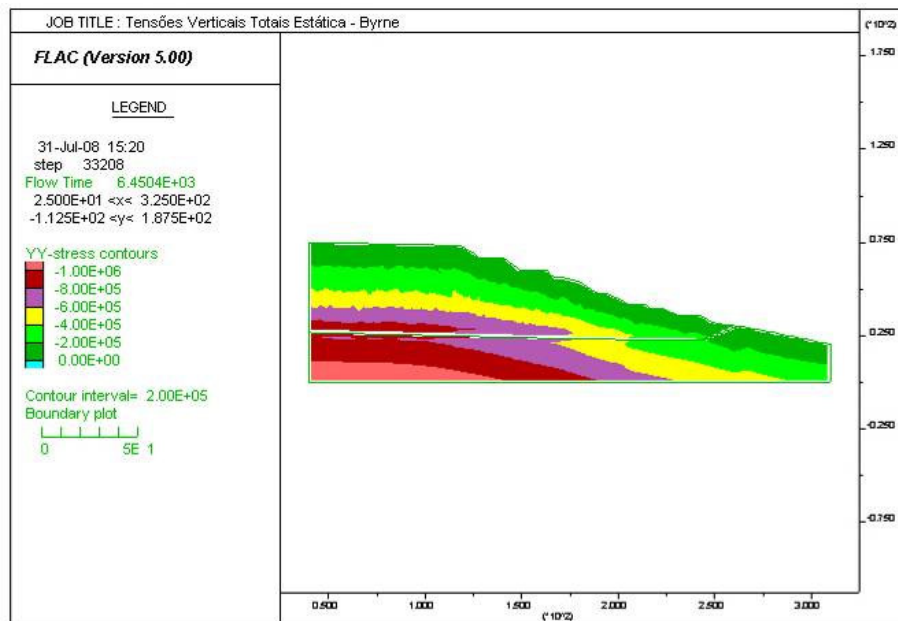


Figura 5.39 - Tensões Verticais Totais na condição estática, modelo UBCSAND.

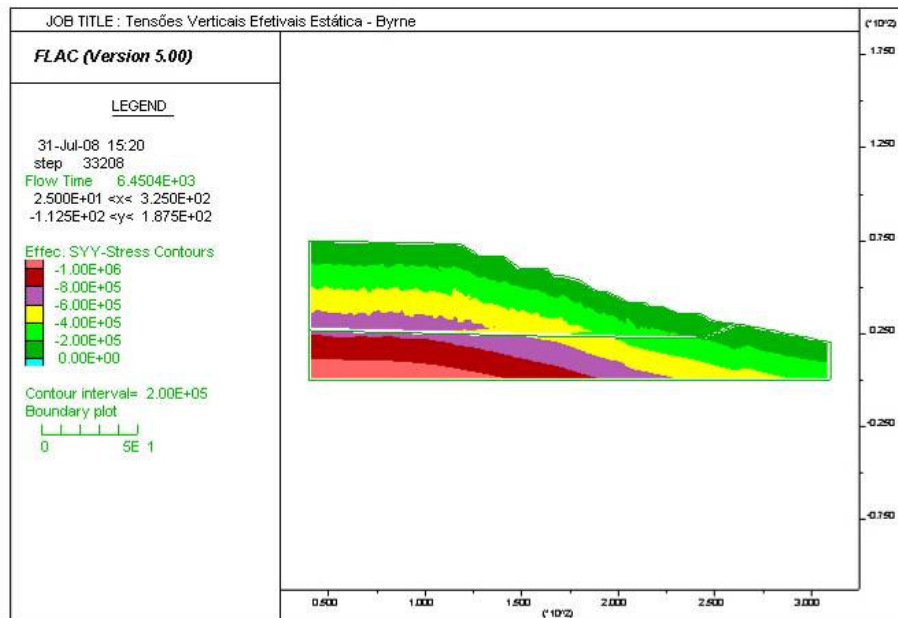


Figura 5.40 - Tensões Verticais Efetivas na condição estática, modelo UBCSAND.

Movimento Sísmico

Como explicado anteriormente, o registro sísmico a ser usado nas análises dinâmica será o de Moquegua de 2001, devidamente escalado para a aceleração pico da zona do projeto. As Figuras 5.41 e 5.42 apresentam os registros tempo historia da velocidade e dos deslocamentos do sismo de Moquegua considerando 57 seg. de movimento onde se encontra as maiores amplitudes de aceleração.

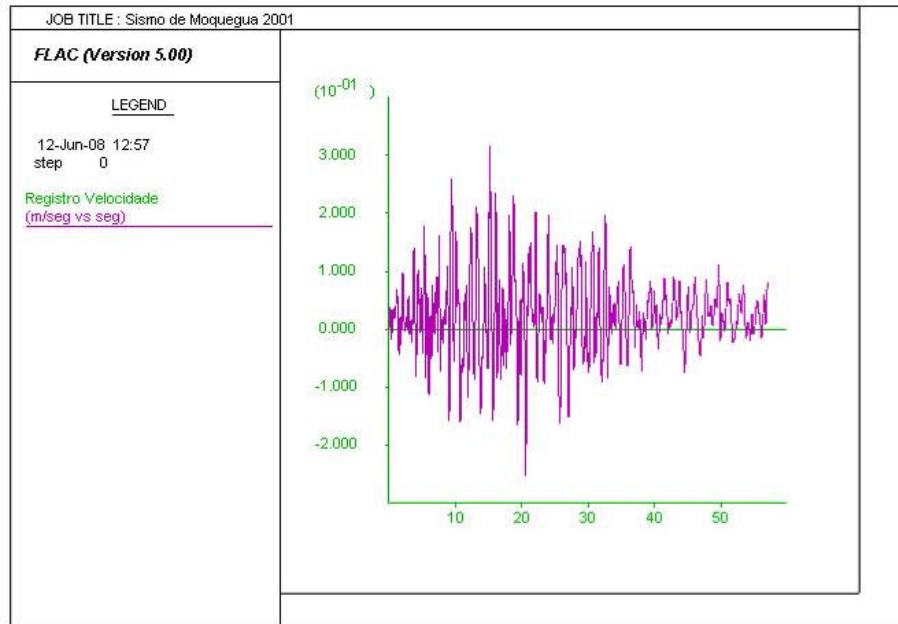


Figura 5.41 - Registro tempo historia de velocidade do sismo de ingresso.

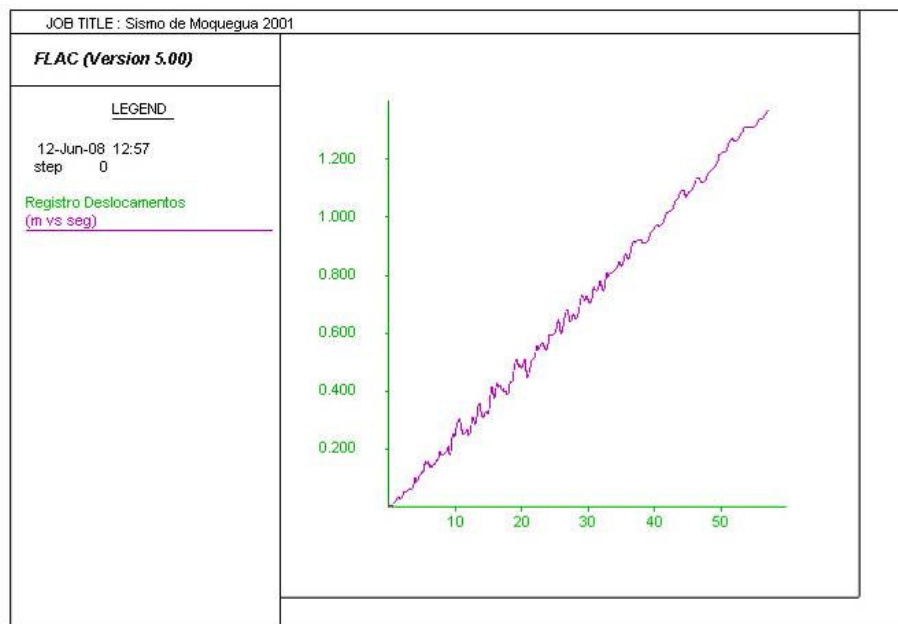


Figura 5.42 - Registro tempo historia do deslocamento do sismo de ingresso.

Antes de ingressar o registro sísmico, este é filtrado para remover as frequências acima de 10 Hz, com ajuda da função fish incluída na biblioteca do FLAC, *FILTER.FIS*. Esta filtragem é realizada para reduzir a velocidade cisalhante da onda que pode ocorrer em alguns materiais durante o estágio de carregamento dinâmico. O espectro de potencia para as ondas filtradas é mostrado na Figura 5.43.

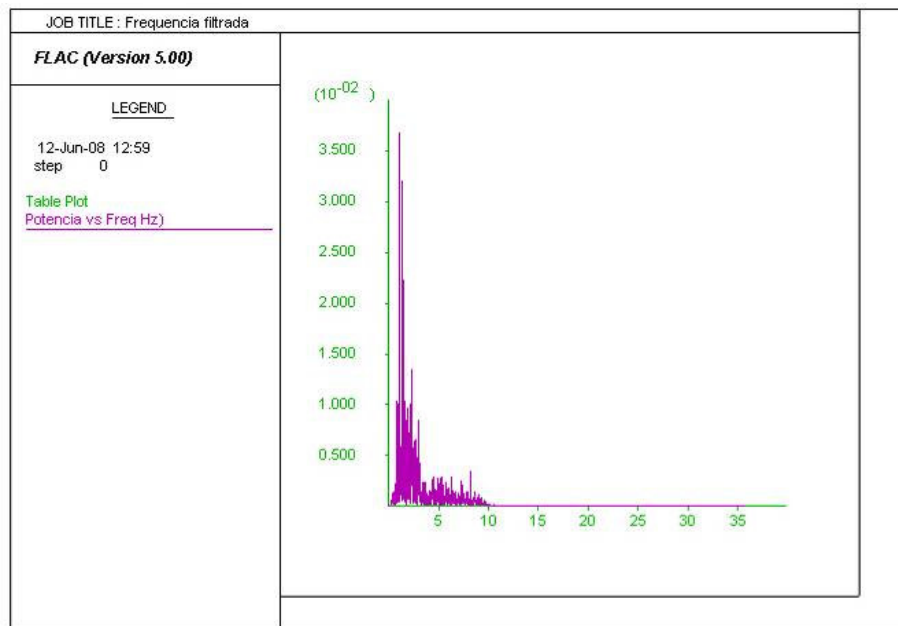


Figura 5.43 - Potencia das Freqüências filtrada para 10 Hz.

Ao realizar a filtragem, o registro tempo historia de deslocamentos apresenta um deslocamento residual continuando depois de finalizado o movimento sísmico, como se aprecia na Figura 5.44, tendo então que ser corrigido por linha base. O resultado do deslocamento residual encontrado nesse caso, foi de 1,36m. A correção da linha base é conduzida adicionando uma onda senoidal de baixa frequência no registro de velocidade, sendo os parâmetros da onda senoidal ajustados tal que o deslocamento final seja zero. O registro tempo historia de deslocamentos com e sem correção são mostrados na Figura 5.44.

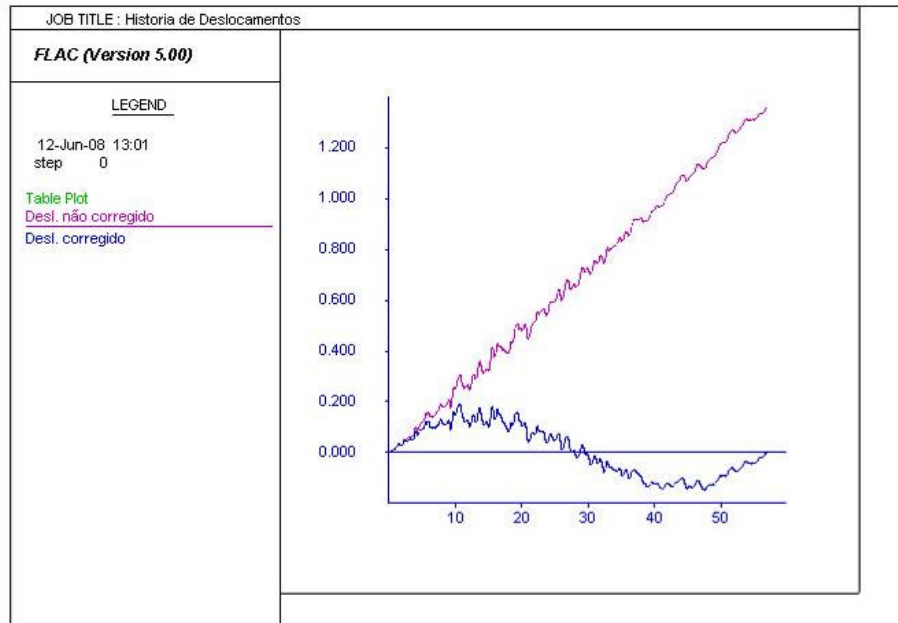


Figura 5.44 - Registro tempo historia de deslocamentos do sismo filtrado para 10 Hz.

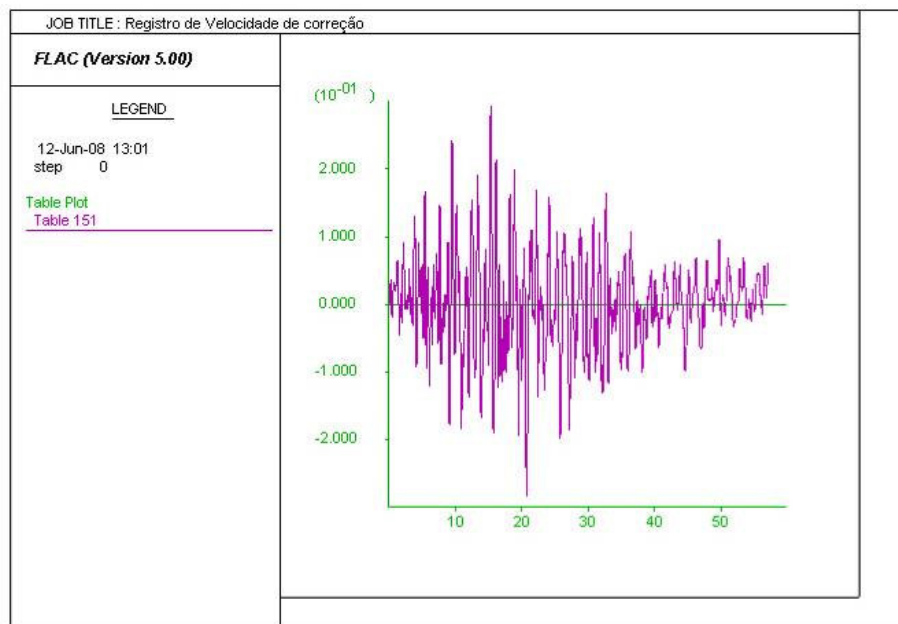


Figura 5.45 - Registro tempo historia da velocidade de correção para a linha base.

Finalmente, derivando as velocidades corrigidas, obter-se-á o registro de acelerações, filtrada e corrigida pela linha base como apresentado na Figura 5.46.

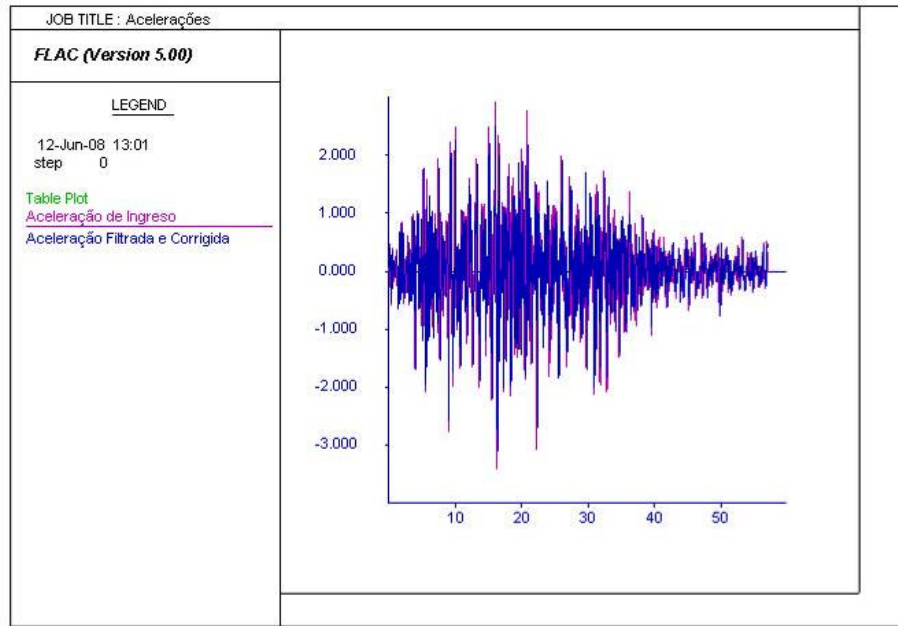


Figura 5.46 - Registro tempo historia de aceleração filtrada e corrigida, que será usada nas análises.

Análise dinâmica com o modelo de Finn

Depois de ter sido inicializado as tensões atuantes na estrutura e fundação, procederam-se com a análise dinâmica, primeiro com o modelo de Finn. Os parâmetros dos solos foram mudados de Mohr Coulomb para os de Finn, chamasse as constantes C_1 e C_2 (item 3.2.2) e mais uma constante designada como *latency* que é o mínimo número de passos entre reversas dos ciclos de carregamento. Inicialmente o valor de *latency* é dado um valor alto (1.000.000) para evitar liquefação quando se estão inicializando os parâmetros de Finn. A Figura 5.47 apresenta a malha e as histórias de velocidade, poropressões, incrementos de poropressões e de deslocamento que foram inicializados para ser avaliados ao término da aplicação do carregamento sísmico.

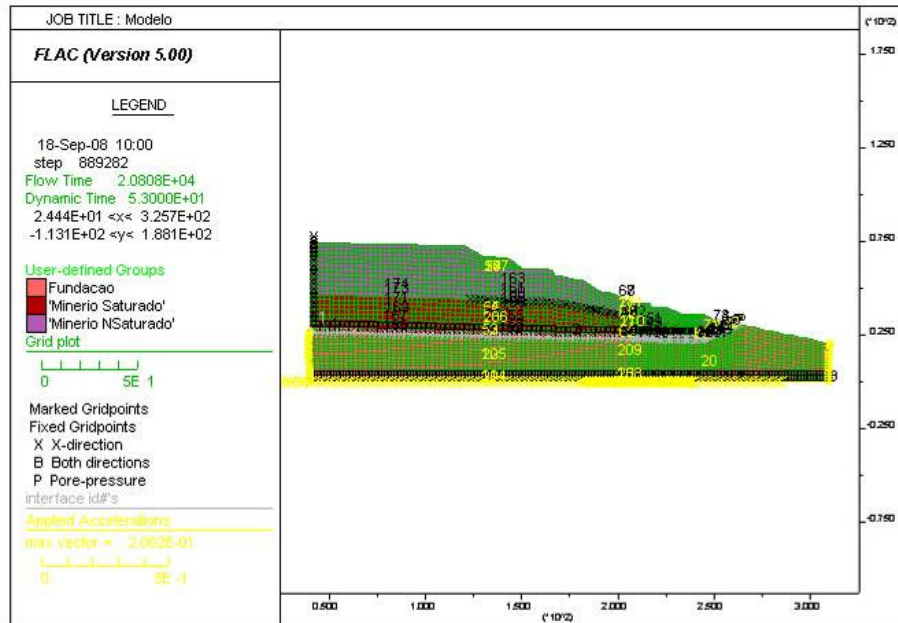


Figura 5.47 - Geometria, malha e aplicação das condições de contorno e do sismo.

Agora, o registro sísmico pode ser aplicado na base do sistema criado, com condições de contorno como o contorno silencioso *freifield*, condição de fluxo desligada (set flow=off) para ter uma condição não drenada, já que um evento sísmico ocorre num lapso de tempo curto onde a dissipação de poropressões não é possível. A análise é feita para grandes deformações, recomendada para liquefação de solos.

O amortecimento recomendado (pelo FLAC e outros autores) que deverá amortecer os modos naturais de oscilação do sistema é o Histerético com uma pequena fração do amortecimento Rayleigh proporcional a rigidez (0,5% da frequência dominante, manual do FLAC) para amortecer os primeiros níveis de deformação. Na tentativa de usar estes tipos de amortecimento combinado, a malha deformava grandemente a poucos segundos de aplicação da carga sísmica, que ocasionava um erro matemático sendo impossível continuar.

A melhor opção encontrada para amortecer o sistema, e recomendado por outros usuários do FLAC, foi usar uma combinação de amortecimento Rayleigh (2% da frequência dominante) e Local. Para determinar a frequência dominante do sistema não amortecido, primeiro simulou-se essa condição. A frequência dominante do sistema é encontrada num espectro de potencia do registro tempo-historia de velocidade. Analisaram-se várias historias de velocidades em diferentes nós da malha não amortecida (Figura 5.48), encontrando-se em todas

elas valores iguais de frequência dominante. A Figura 5.49, apresenta o espectro de potência do registro tempo historia do nó 37,8 (x,y), sendo a frequência dominante igual a 1,04 Hz.

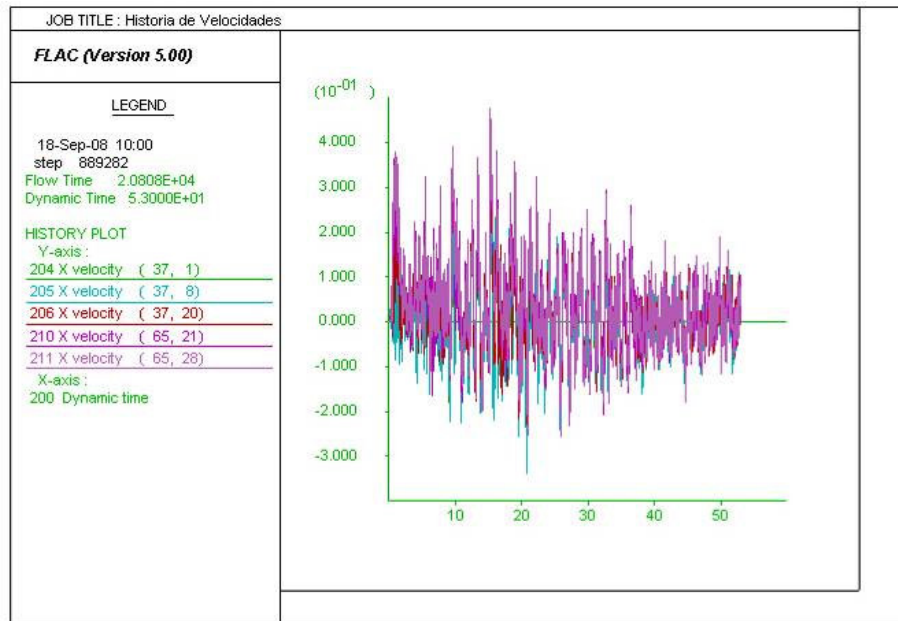


Figura 5.48 - Historia das velocidades em alguns nós, sistema sem amortecimento.

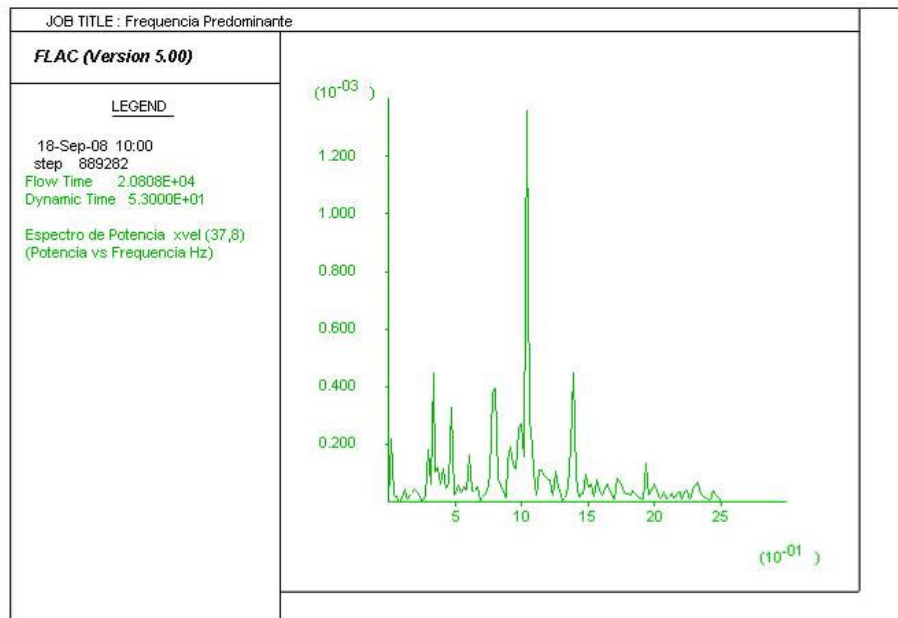


Figura 5.49 - Espectro de frequência. Determinação da frequência dominante da velocidade, num sistema sem amortecimento.

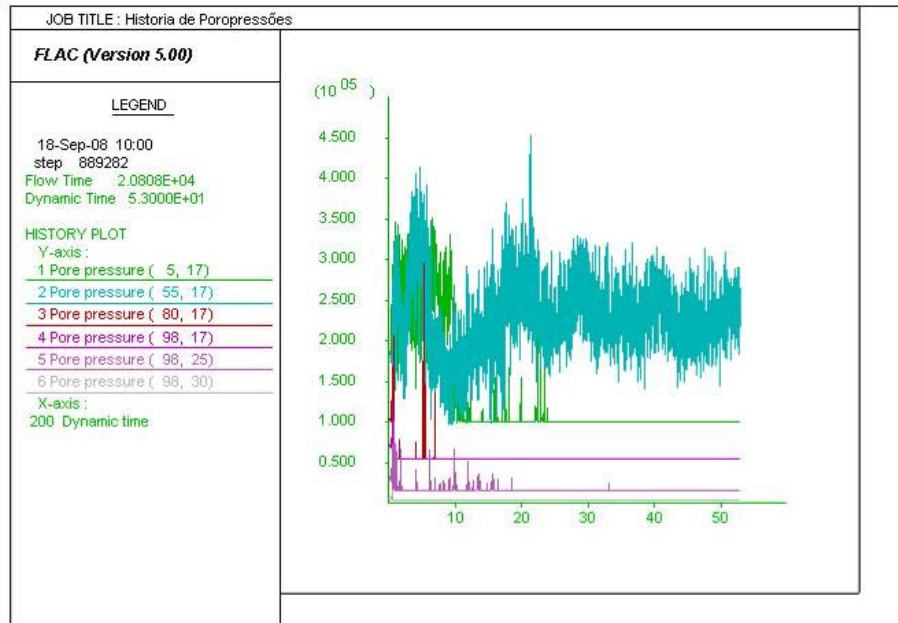


Figura 5.50 - História das poropressões em alguns nós, sistema sem amortecimento.

A seguir, apresentam-se as figuras da rodada do programa com a aplicação do sismo (*set dyn=on*) e a análise pós-sismo. A análise pós-sismo foi feita considerando condição estática, sem a aplicação da carga sísmica e ainda sem drenagem.

A Figura 5.51 apresenta a variação da poropressão com o tempo, em nós ao longo da linha de geomembrana e em outros nós superiores. Pode-se apreciar que as poropressões nos nós que ficam mais perto do centro da pilha (5,17) e (55,17) incrementam-se muito mais que nos nós que ficam mais perto do pé da pilha ou muito perto da crista.

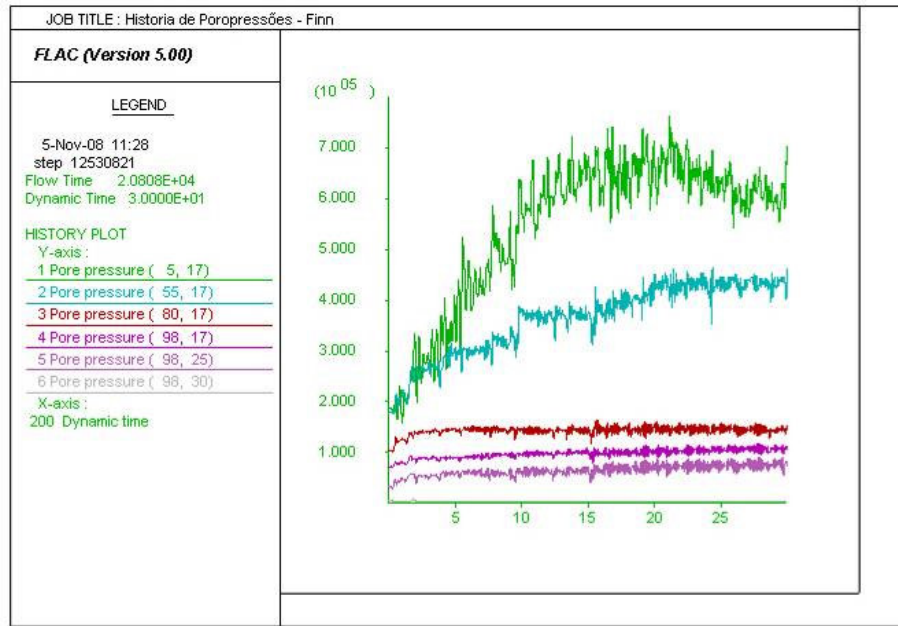


Figura 5.51 - Historia das poropressões em alguns nós, sistema com amortecimento Rayleigh + Local, t=30 seg.

As zonas que liquefazem são encontradas quando a razão de excesso de poropressões são maiores o iguais a 1, e é definida como:

$$\frac{\text{incremento da poropressão}}{\text{tensão vertical efetiva inicial}} = \frac{\Delta u}{\sigma'_{vo}} \quad (5.1)$$

Essas zonas foram determinadas para uma aplicação do sismo durante 30s e quando o carregamento sísmico terminou (condição pós-sismo).

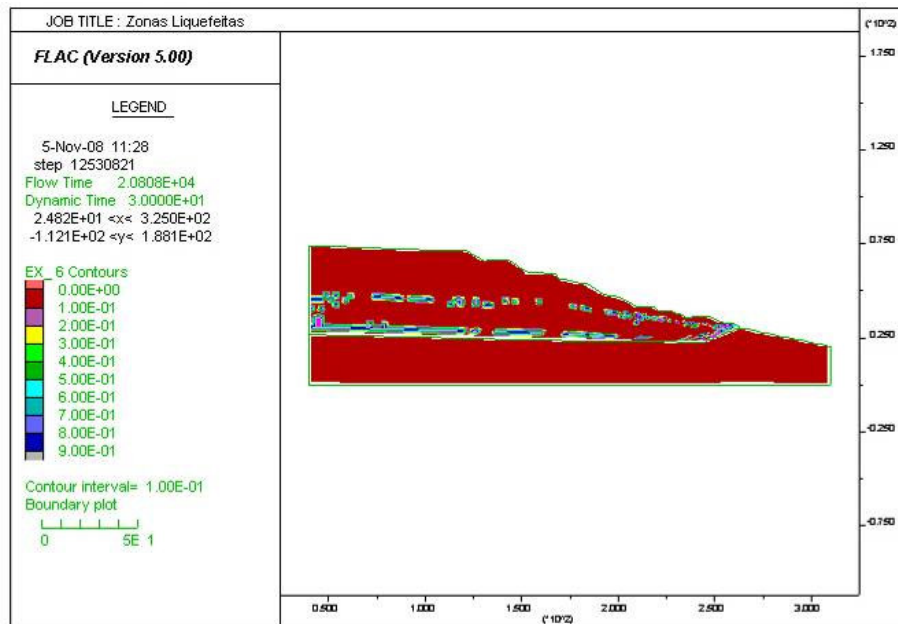


Figura 5.52 - Zonas liquefeitas t=30seg de sismo.

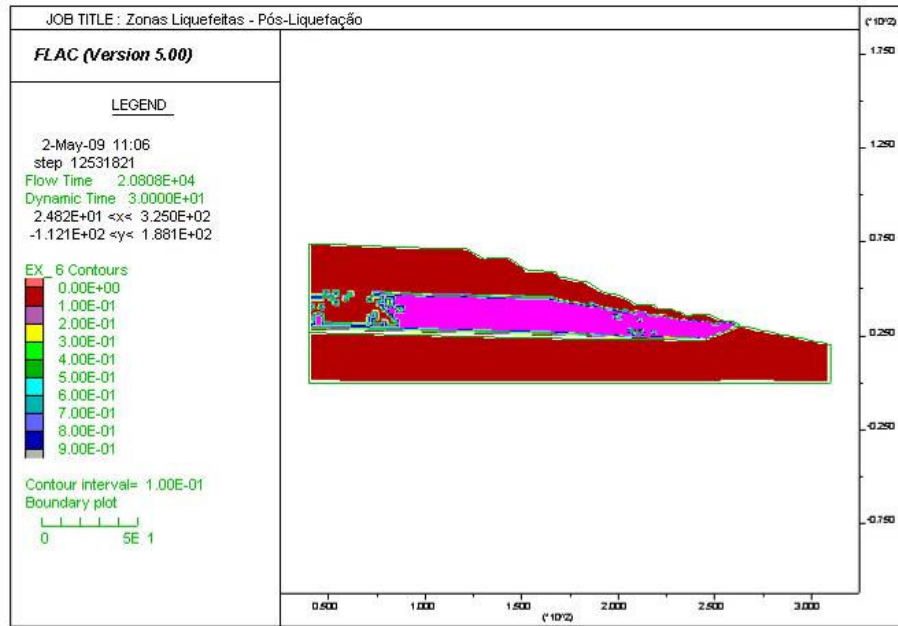


Figura 5.53 - Zonas liquefeitas depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo.

As Figuras 5.52 e 5.53 mostram como a zonas com solos liquefeitos, incrementam-se quando o sismo terminou, na condição pós-sismo. As figuras de distorção da malha (Figuras 5.54 e 5.55) mostram como a malha continua se deformando mesmo sem aplicação da carga sísmica, ao igual que as figuras de deslocamentos horizontais e verticais que apresentam valores absurdamente grandes de 75m na horizontal e 25m na vertical (Figuras 5.56 e 5.57).

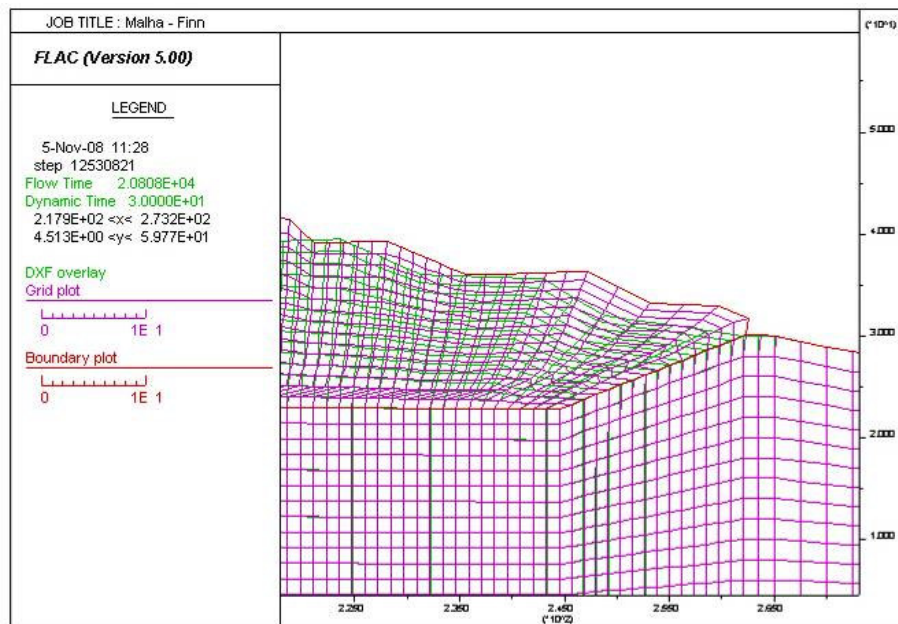


Figura 5.54 - Zoom, malha deformada t=30seg de sismo.

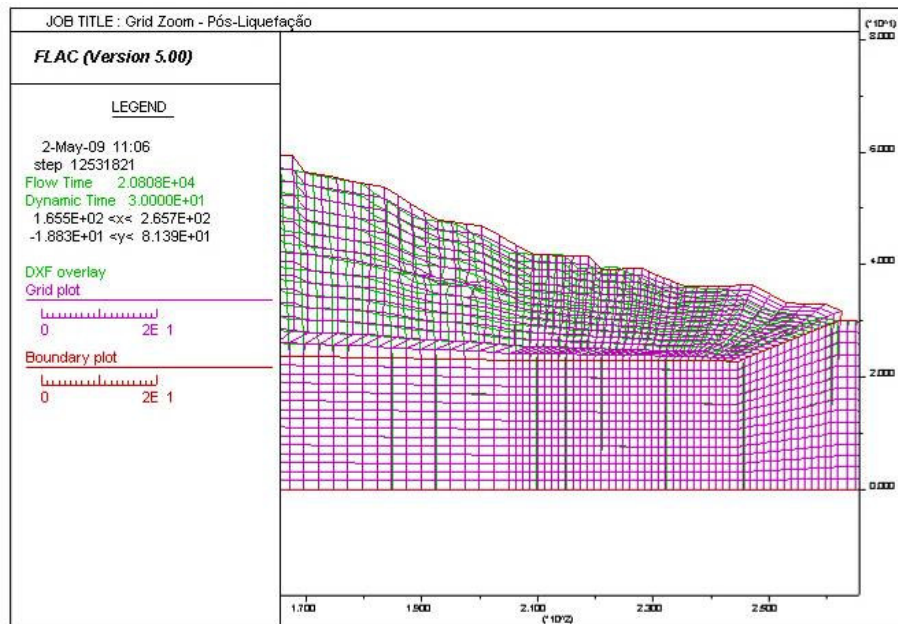


Figura 5.55 - Zoom, malha deformada depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo.

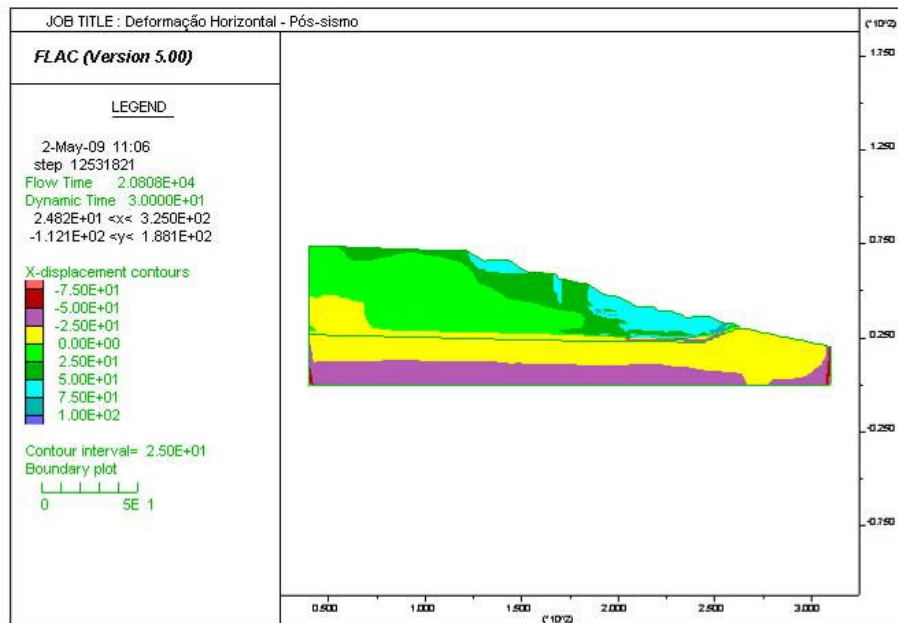


Figura 5.56 - Deslocamentos horizontais, depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo.

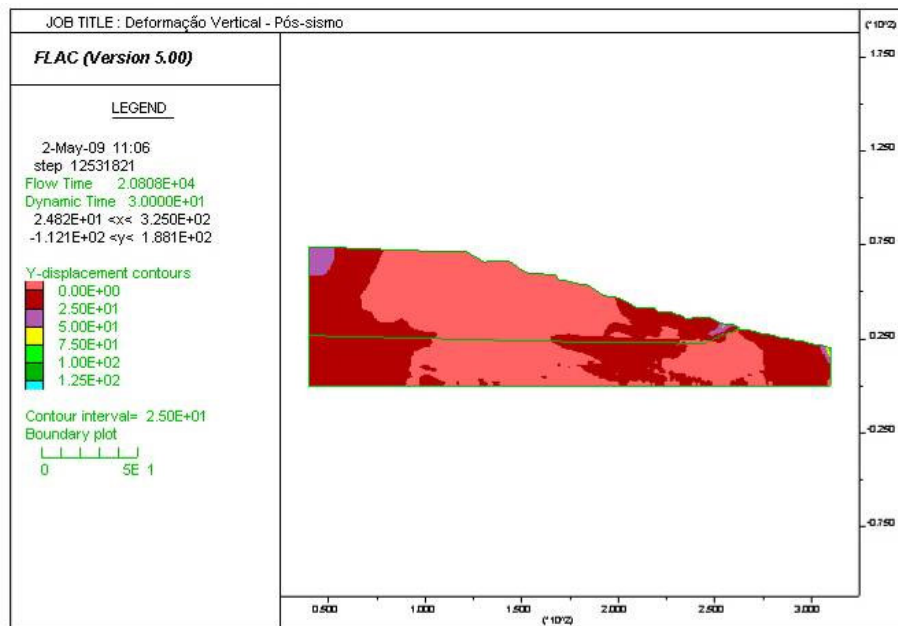


Figura 5.57 - Deslocamentos verticais, depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo.

Todas estas figuras estão demonstrando que o fluxo por liquefação está acontecendo depois que o sismo teve finalizado, como explicado inicialmente nas definições, uma vez desencadeado a liquefação, as deformações subseqüentes são conduzidas pelas tensões cisalhantes estáticas.

Análise dinâmica com o modelo do UBCSAND

A análise dinâmica com o UBCSAND foi conduzida ligando a condição dinâmica (set dyn=on) e desligando o fluxo (set flow=off) para ter uma condição não drenada e análises a grandes deformações. Também foi realizada uma análise pós-sismo para avaliar se o fluxo por liquefação pode estar acontecendo, nessa fase.

Similarmente ao modelamento com Finn, o amortecimento usado nesta modelagem foi uma combinação de Rayleigh (2% da frequência dominante) e Local. A frequência dominante do sistema foi usada a mesma determinada anteriormente (1.04 Hz).

Observou-se durante a rodada que o módulo de deformação volumétrica da água influenciava no tempo da rodada do programa. Comprovou-se que para o módulo real da deformação volumétrica da água, $K_w=1E6KPa$, o tempo de rodada resultava exageradamente grande. Assim que se experimentou para outros valores, $K_w=1E5KPa$ e $K_w=1E3KPa$, e observou-se sua influência no tempo de

rodada do programa e na geração de poropressões durante o carregamento não drenado.

O tempo melhorou substancialmente mudando para $K_w=1E5KPa$ e os incrementos das poropressões pareciam não ter sido afetadas. Com $K_w=1E3KPa$, verificou-se que os incrementos das poropressões geradas foram muito baixas ao término da carga sísmica que não geraram zonas liquefeitas (Figura 5.58). Em conclusão, as análises foram avaliadas com o $K_w=1E5KPa$.

Os resultados da modelagem com o UBCSAND são apresentados a seguir. A Figura 5.58 que apresenta a historia de poropressões mostram incrementos de poropressões menores que os calculados com o modelo de Finn. Igualmente ocorre com as poropressões na condição pós-sismo (Figura 5.59) que resultam menores que com o modelo de Finn.

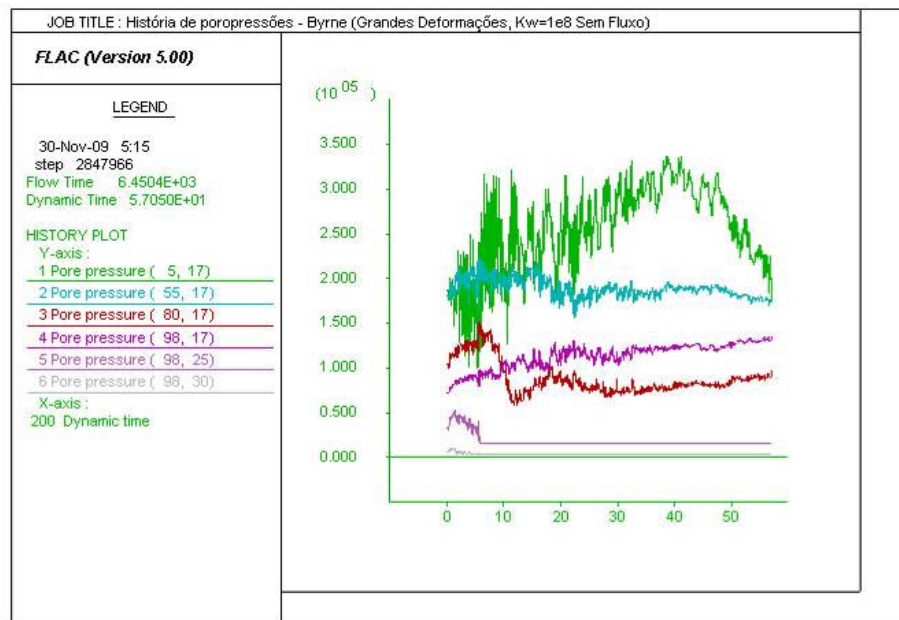


Figura 5.58 - Historia das poropressões em alguns nós, sistema com amortecimento Rayleigh + Local, modelo UBCSAND, $t=57$ seg.

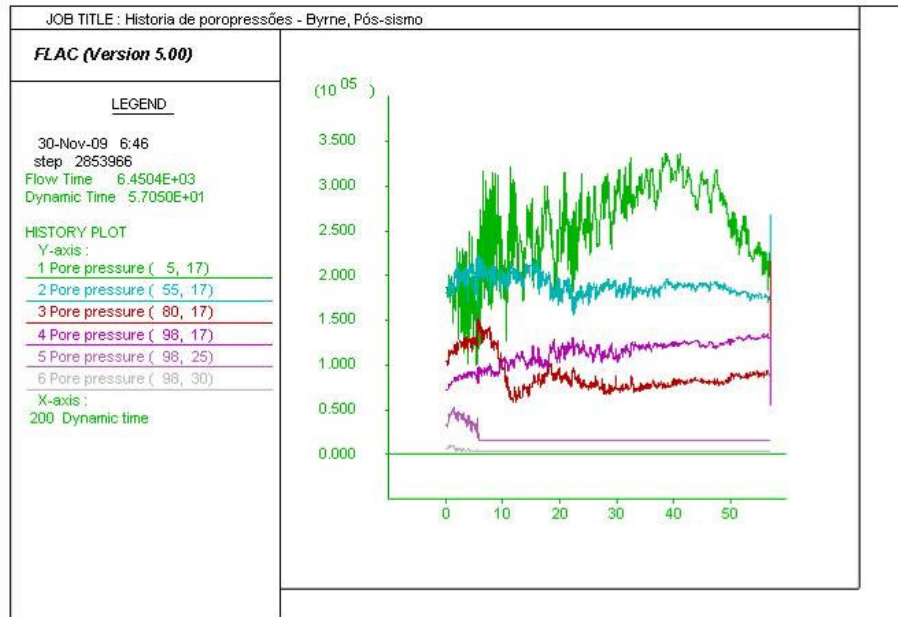


Figura 5.59 - Historia das poropressões em alguns nós, modelo UBCSAND, depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo.

As zonas que estão liquefazendo foram determinadas com a mesma equação apresentada no modelo Finn (equação 5.1). Neste caso, consideraram-se zonas liquefeitas quando a razão de excesso de poropressões é maior que a razão de falha que modifica a rigidez plástica R_f , explicada no item 3.2.3. O valor de R_f sempre é menor que 1 e pode ser calculado o correlacionando com $(N_1)_{60}$ do SPT, sugerido pelo UBCSAND: $R_f = 1 - (N_1)_{60} / 100$, para $(N_1)_{60}$ menor que 50 golpes/30cm.

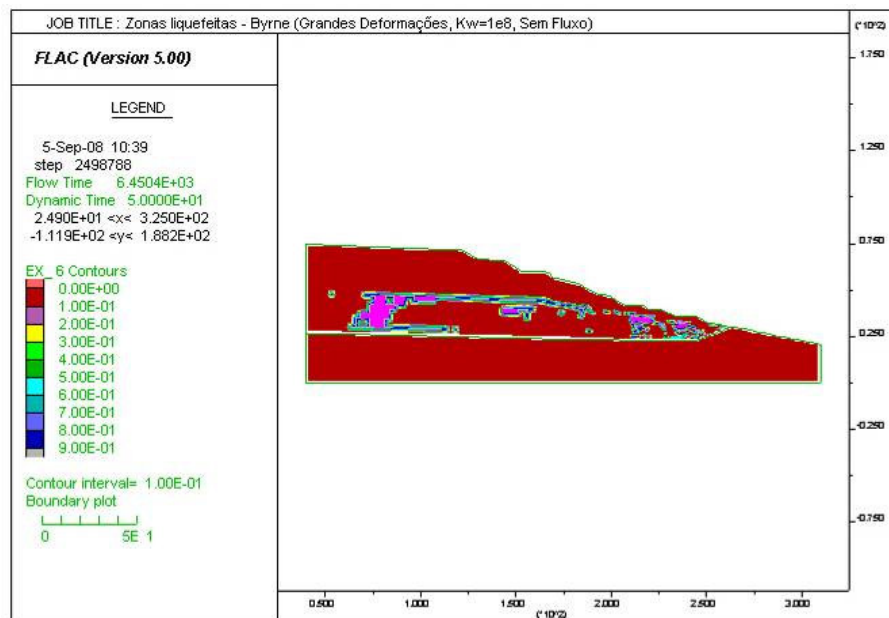


Figura 5.60 - Zonas liquefeitas t=57seg de sismo, modelo UBCSAND.

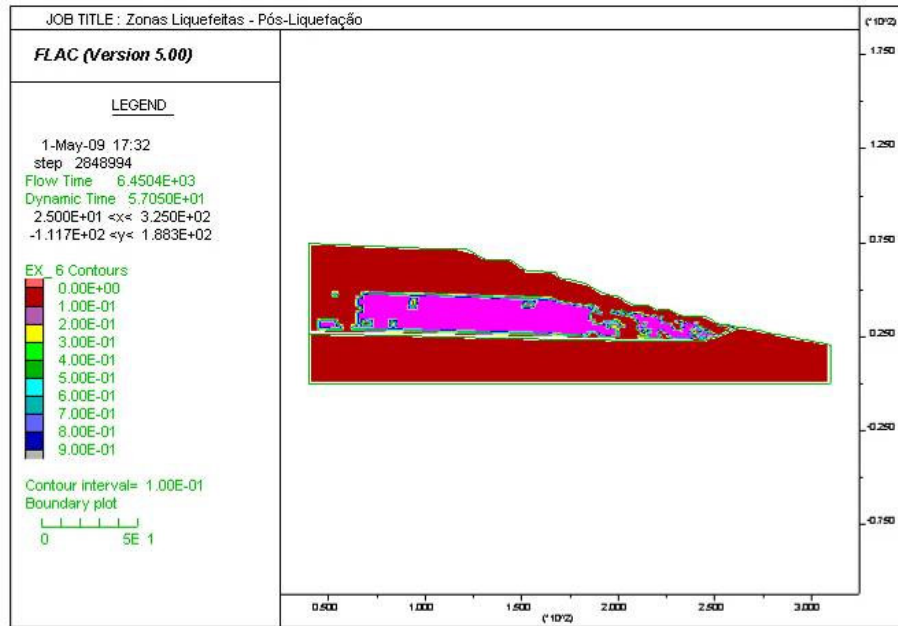


Figura 5.61 - Zonas liquefeitas depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo, modelo UBCSAND.

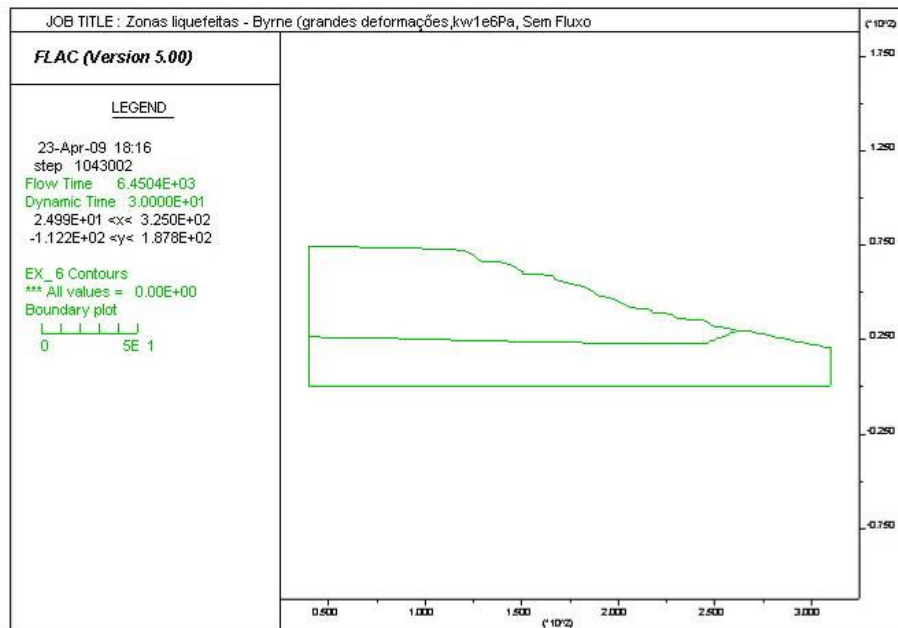


Figura 5.62 - Zonas liquefeitas t=30seg de sismo, Kw=1E3KPa, modelo UBCSAND

As Figuras 5.60 e 5.61 mostram como a zonas com solos liquefeitos, incrementam-se quando o sismo terminou, na condição pós-sismo. As figuras de distorção da malha (Figuras 5.63 e 5.64) mostram como a malha continua se deformando mesmo sem aplicação da carga sísmica, ao igual que as figuras de

deslocamentos horizontais e verticais que apresentam valores absurdamente grandes de 175m na horizontal e 60m na vertical (Figuras 5.65 e 5.66).

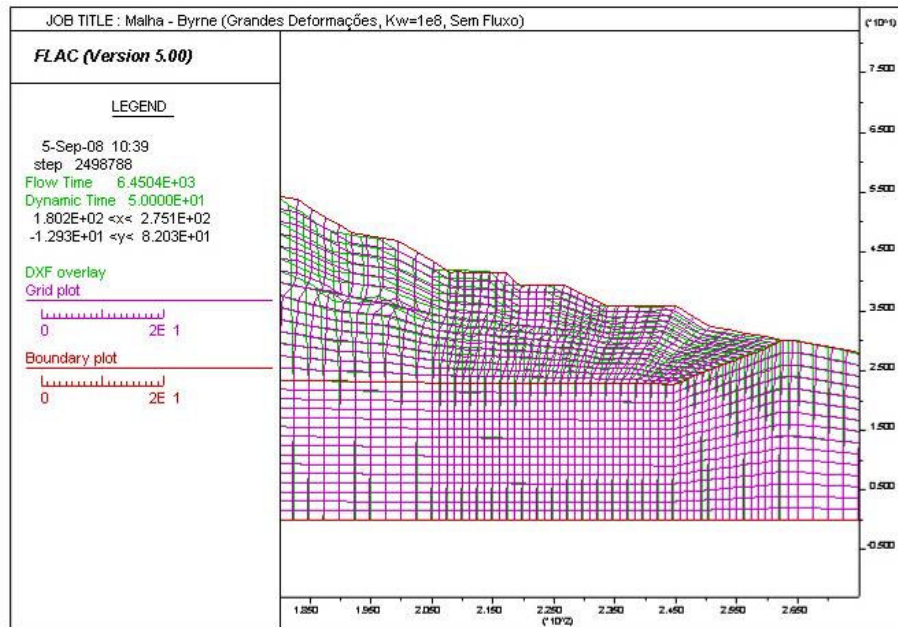


Figura 5.63 - Zoom, malha deformada t=57seg de sismo, modelo UBCSAND.

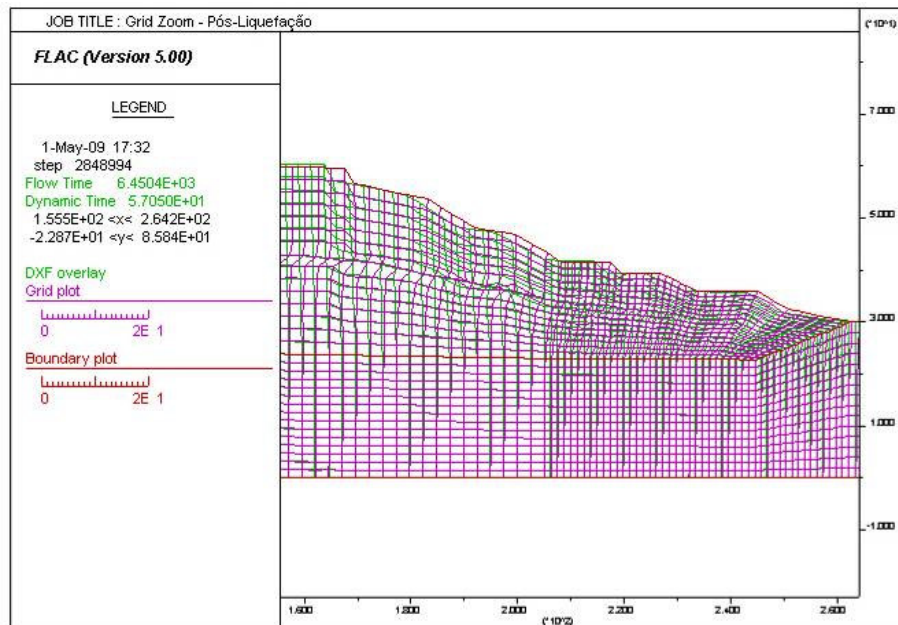


Figura 5.64 - Zoom, malha deformada depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo, modelo UBCSAND.

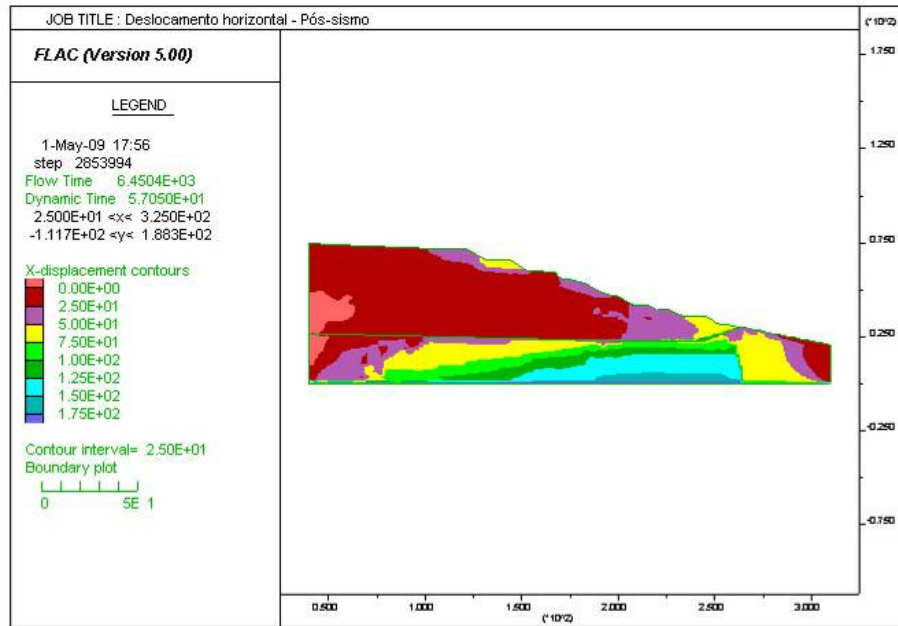


Figura 5.65 - Deslocamentos horizontais, depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo, modelo UBCSAND.

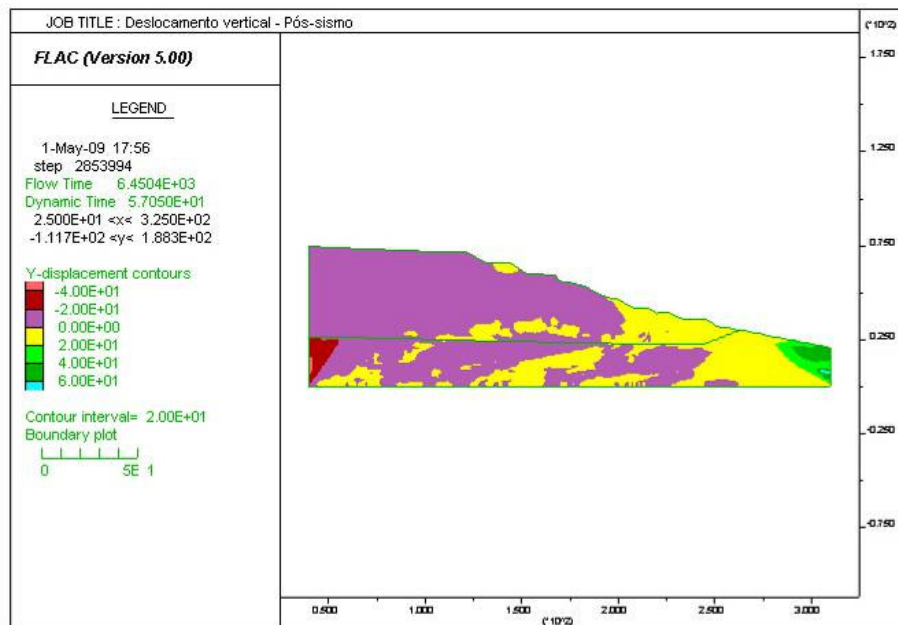


Figura 5.66 - Deslocamentos verticais, depois de ter terminado a aplicação do sismo, condição pós-sismo, modelo UBCSAND.

Todas estas figuras, ao igual que na análise com o modelo de Finn, estão demonstrando que o fluxo por liquefação está acontecendo depois que o sismo teve finalizado, condição pós-sismo.