

ENSAIO TRIAXIAL

ASTM D 4767

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia SA

Refª: S02-Tu-CAS

Profundidade: 4,10-4,70 m

Classificação: Areia siltosa

Estado: Intacta

Tipo de ensaio: Triaxial - CIU

RELATÓRIO DE ENSAIO TRIAXIAL

Características do equipamento:

Estação Triaxial nº	1	
Diâmetro médio das amostras; $\varnothing$ =	60,0	(mm)
Área média das secções; A =	2827,43	(mm ²)
Altura média dos provetes; H =	114,33	(mm)

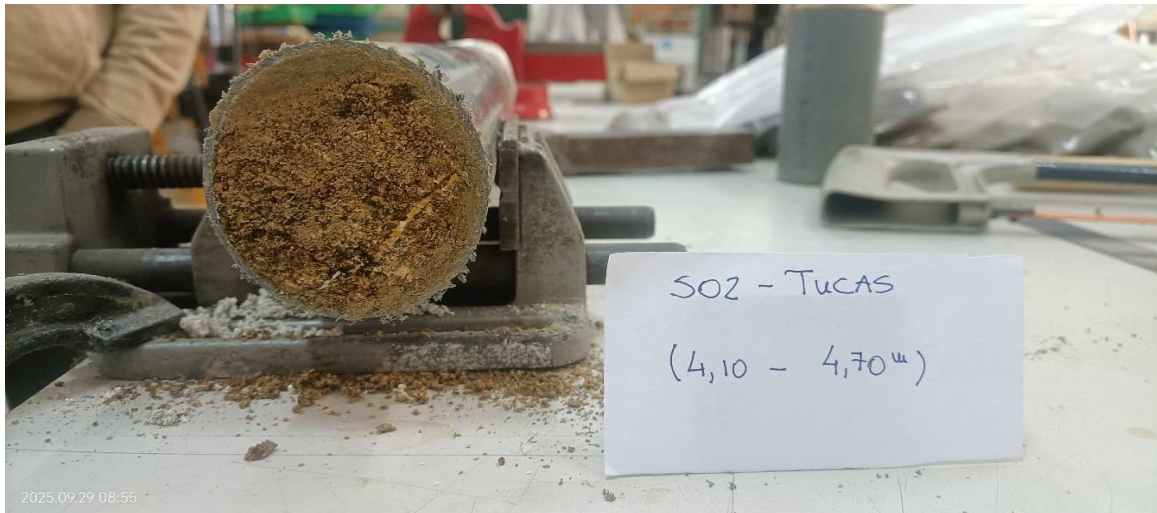
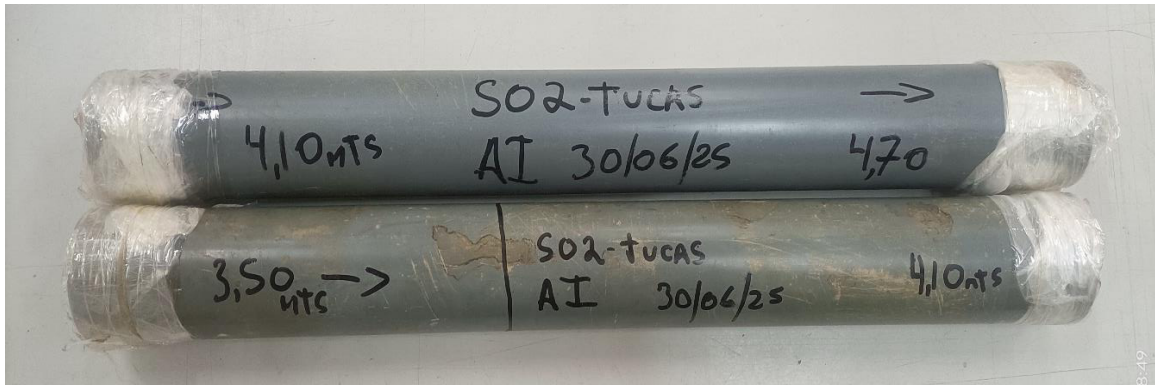
Equipamento de ensaio : Célula triaxial, com controlo automático das tensões e leitura automatizada de todos os dispositivos de leitura.

Tipo de registo	Automático	
Atuadores pressão ELDPC - GDS	3	1000 kPa
Capacidade vol. do atuador	1	200 cc
Transdutor de deslocamento externo	1	25 mm
Célula de carga submersível	1	10 MPa
Prensa GDSLF50	1	50 kN

Designação dos ensaios : CIU - Consolidados não drenados, com medição de pressões intersticiais



ENSAIO TRIAXIAL - CIU (com medição da pressão intersticial)
Amostra: S02-Tu-CAS (4,10-4,70 m)



Propriedades dos provetes:

Proвете	σ'_{cons} (kPa)	H_i (mm)	ϕ_i (mm)	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e_0	S_0 (%)
A	50	116,0	60,0	19,89	17,31	0,496	79,21
B	100	114,0	60,0	19,33	16,82	0,540	72,99
C	200	113,0	60,0	19,08	16,81	0,591	62,31

Fase de saturação dos provetes

Procedimento :

Fase 1 - Aplicação de uma percolação ascendente de água durante cerca de 20 min para remoção das bolhas de ar de maior dimensão. Condições de ensaio:

$$\sigma_{\text{cam}} = 30 \text{ kPa}$$

$$u_{(\text{base})} = 10 \text{ kPa}$$

$$u_{(\text{topo})} = 0 \text{ kPa} \quad (\text{saída para a atmosfera})$$

Fase 2 - Foi utilizada uma bomba de vácuo ligada à linha da contrapressão (topo do provete), aplicando-se uma deflexão de 550 torr, mantendo-se na linha da pressão intersticial (base do provete) uma pressão de 10 kPa, durante 30 minutos, para facilitar a saturação completa do provete.

Fase 2 - Aplicação de uma contrapressão (u_{back}) mínima de 300 kPa, de um modo sequencial (30kPa/h) de modo a garantir uma tensão efectiva de 25 kPa. Estas condições foram mantidas até o provete se considerar saturado.

Proвете	σ'_{cons} (kPa)	Condições iniciais			Saturação		
		H_i (mm)	ϕ_i (mm)	w_i (%)	u_{back} (kPa)	B	Condição
A	50	116,0	60,0	14,9	298,0	0,913	OK
B	100	114,0	60,0	14,9	299,0	0,938	OK
C	200	113,0	60,0	13,5	297,1	0,883	OK

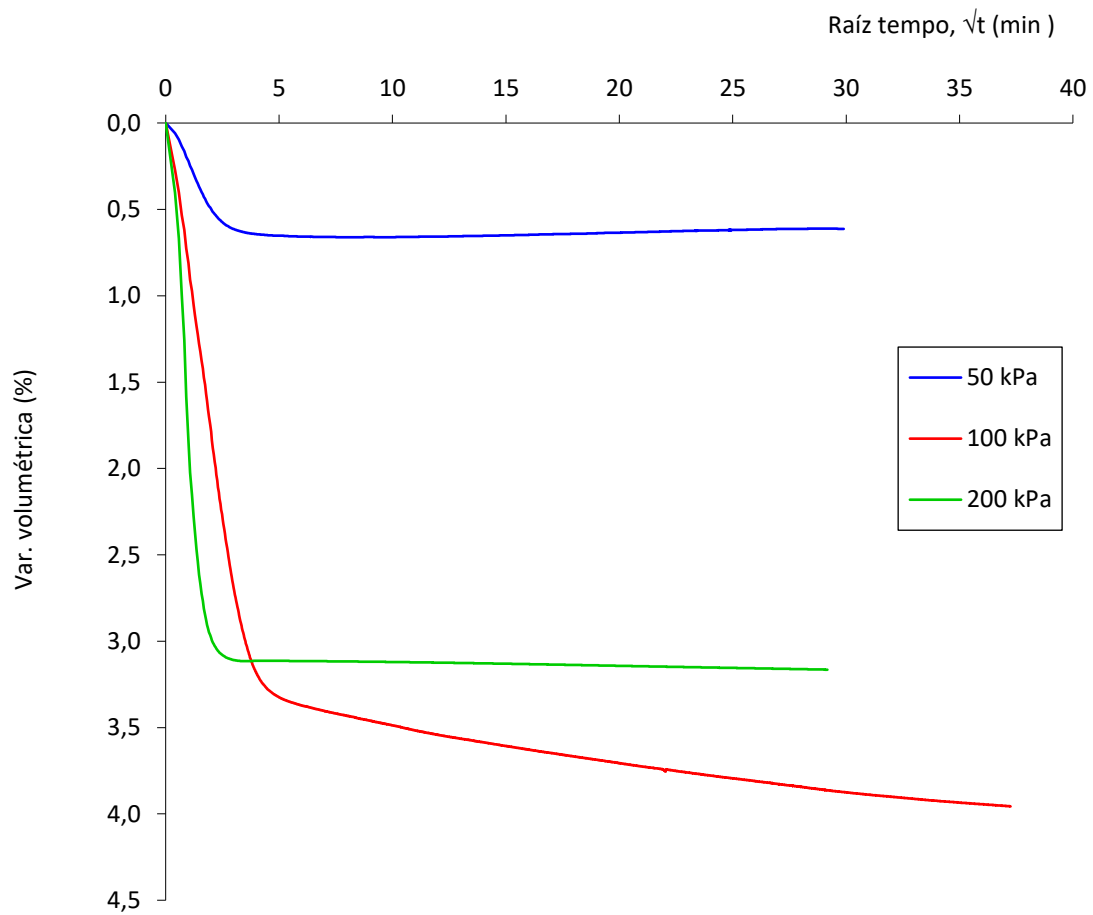
Fase de consolidação

Tipo de consolidação : Isotrópica

Procedimento :

Aplicação do acréscimo de pressão na câmara num único incremento. A drenagem do excesso de pressão intersticial foi efectuada por ambas as extremidades do provete de modo a acelerar o processo de dissipação do excesso de pressão neutra. Durante esta fase mediu-se a variação de volume ao longo do tempo. Considerou-se que a consolidação terminou quando a variação volumétrica estabilizava.

Proвете	Tensões			Resultados			
	σ_{cam} (kPa)	u_{back} (kPa)	σ'_{cons} (kPa)	ε_{vol} (%)	t_{90} (min)	m_v (kPa ⁻¹)	C_v (m ² /ano)
A	349	299	50	0,61	5,760	1,23E-04	260,3
B	399	299	100	3,96	4,410	3,96E-04	328,4
C	500	299	201	3,16	2,723	1,57E-04	522,6



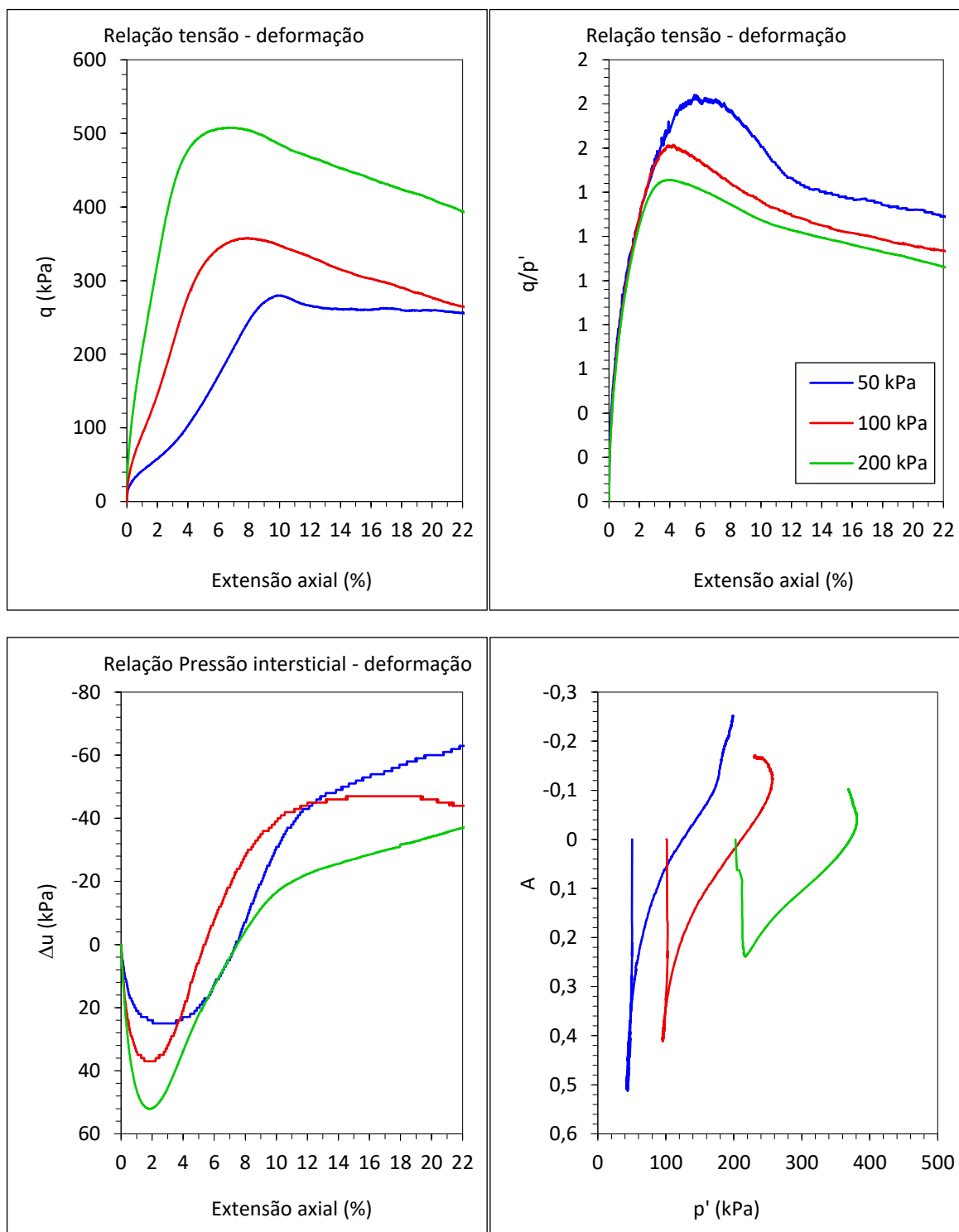
Fase de corte

Trajectória de tensões : **Compressão com aumento da tensão média**

Tipo de drenagem : **Não drenado com medição de pressões intersticiais**

Vel. de corte (mm/min) : **0,08**

Tipo de corte : **Deformação controlada**

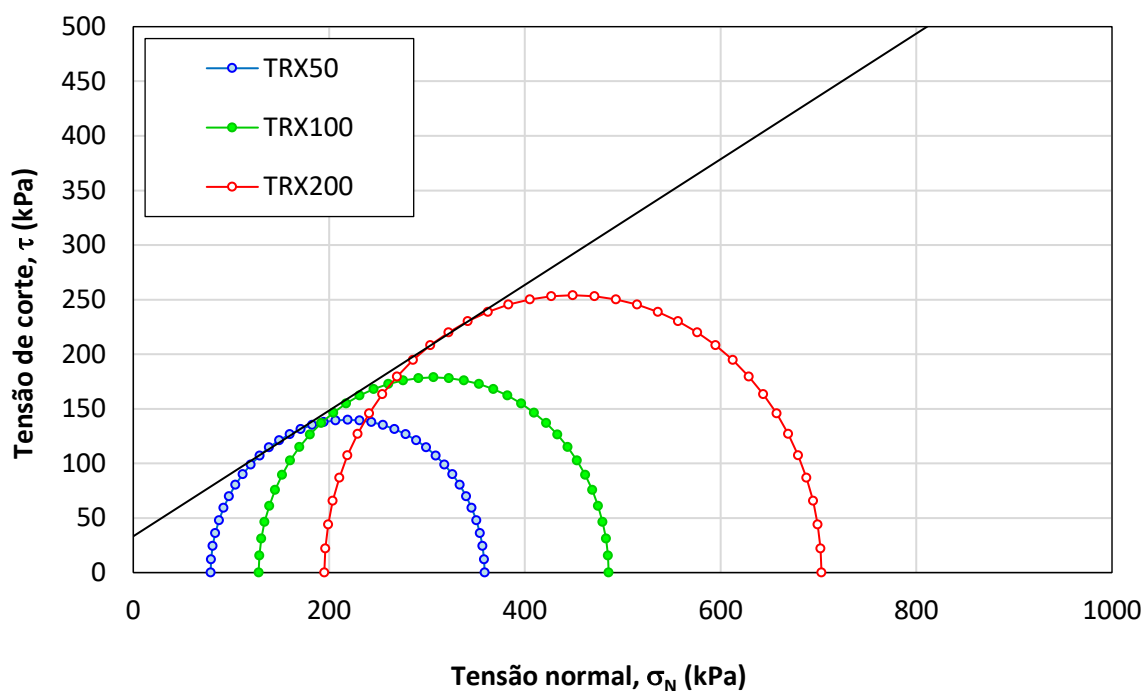


Parâmetros de resistência ao corte:

Critério de rotura = $q_{\text{máx}}$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	50	-0,104	358,9	79,0	271,0	9,8
B	100	-0,075	485,7	128,0	272,0	7,8
C	200	0,015	703,2	195,1	304,9	6,6

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

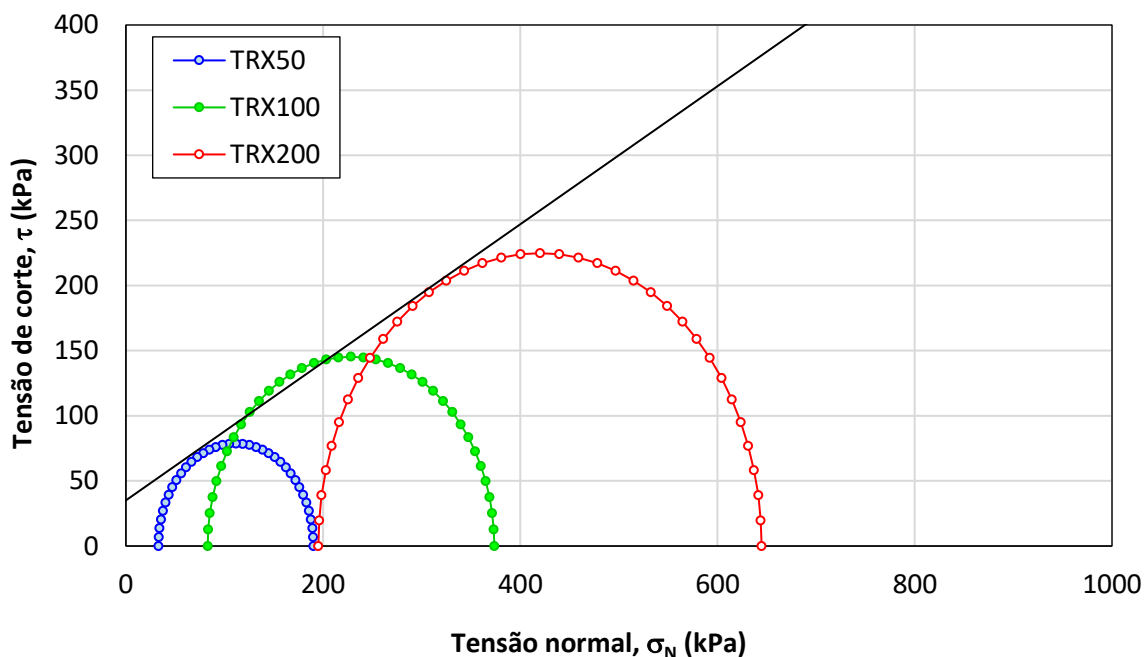
c' (kPa) = 33,3
 ϕ' (°) = 29,9

Parâmetros de resistência ao corte:

$$\text{Critério de rotura} = (\sigma'_1 / \sigma'_3)_{\text{máx}}$$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	50	0,108	190,3	33,0	317,0	5,63
B	100	0,062	373,7	83,0	317,0	4,25
C	200	0,072	644,7	195,1	304,9	6,64

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

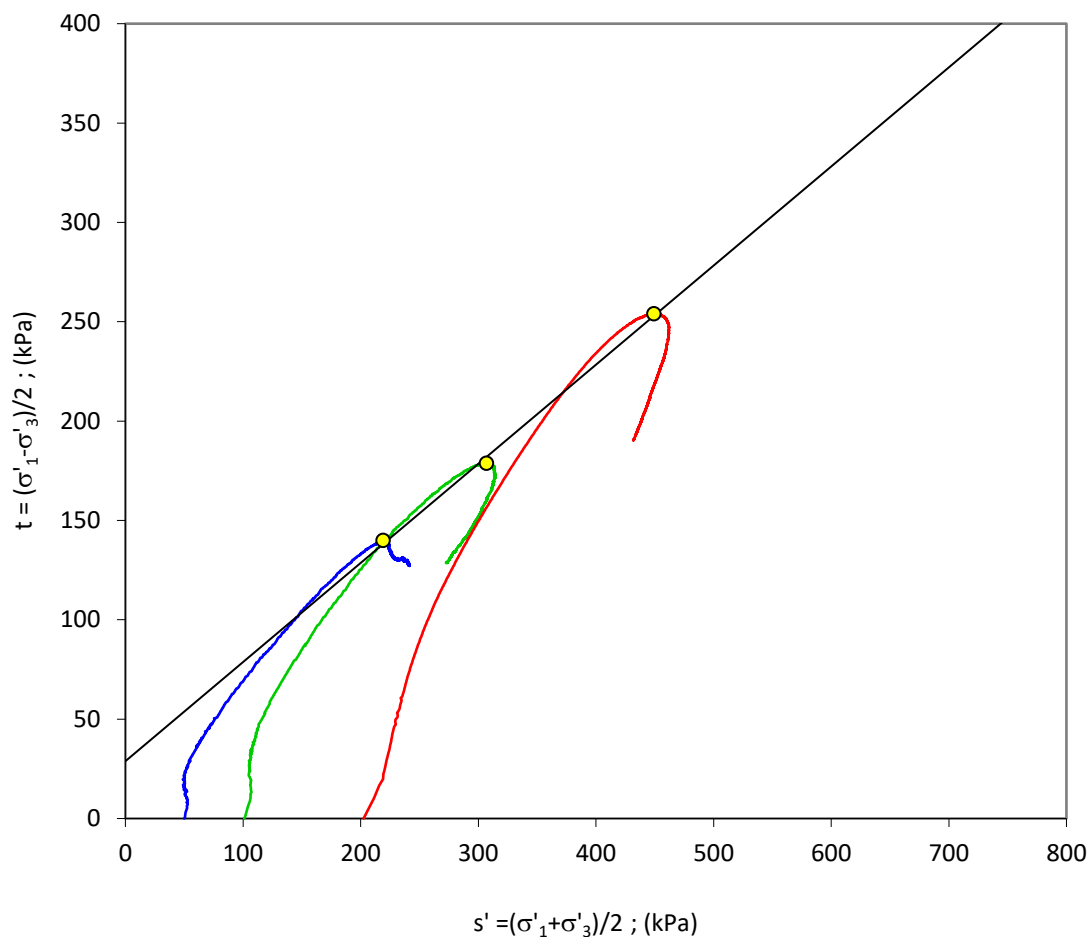
Tensões efetivas

$$c' \text{ (kPa)} = 35,1$$

$$\phi' \text{ (}^\circ\text{)} = 27,9$$

Parâmetros de resistência ao corte:

TRAJETÓRIA DAS TENSÕES NO ESPAÇO $t - s'$



Critério de rotura = $q_{máx}$

$m = 0,499$

$a \text{ (kPa)} = 28,85$

Critério de rotura = $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{máx}$

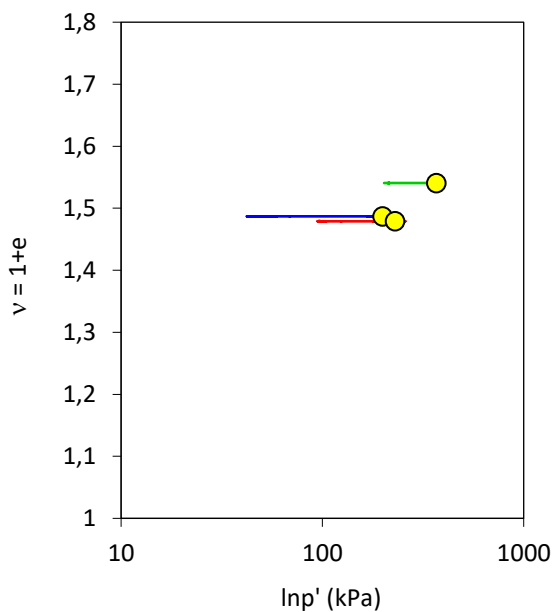
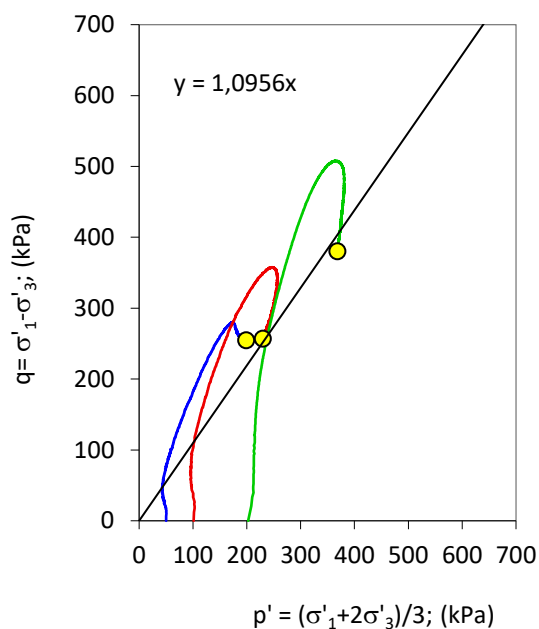
$m = 0,468$

$a \text{ (kPa)} = 30,99$

Estado Crítico

--	--	--	--	--	--	--

Provete	σ'_{cons} (kPa)	w_f (%)	$(\sigma'_1/\sigma'_3)_{cs}$	q_{cs}		Estado Crítico
				p' (kPa)	q (kPa)	$v = (1+e)$
A	50	28,6	3,23	198,9	254,7	1,487
B	100	25,1	2,79	229,7	257,1	1,479
D	200	24,9	2,57	368,4	380,3	1,541



Termo dependente M =	1,096
sin a (°) =	0,46
Termo indep. - a (kPa) =	0,00

Estado Crítico

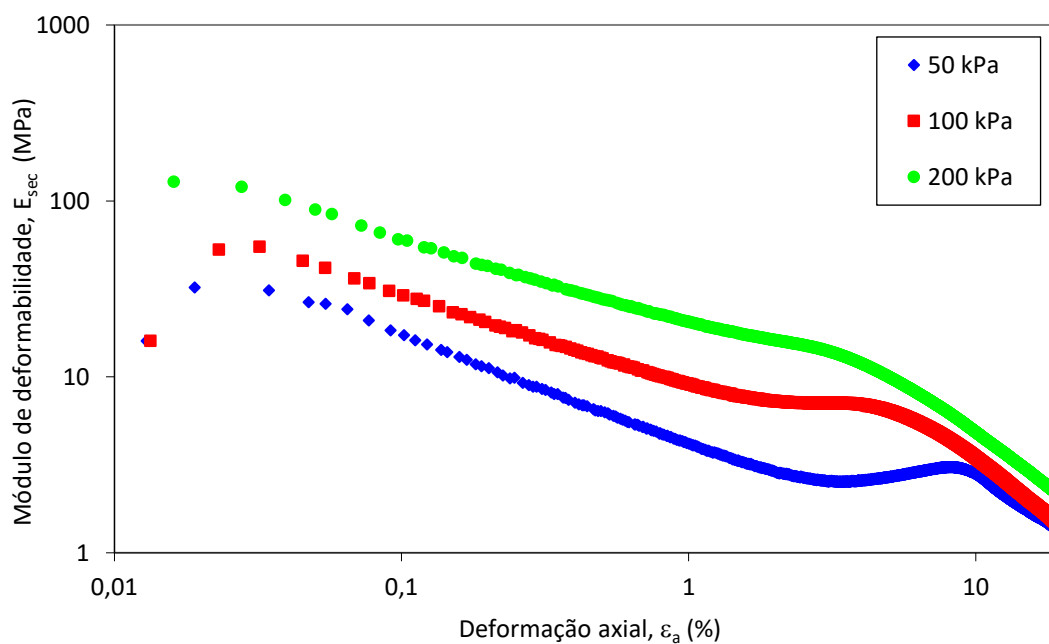
c' (kPa) =	0,0
ϕ' (°) =	27,6
M =	1,096

Γ =	-
λ =	-

Características de deformabilidade

Módulo de deformabilidade secante

Proвете	σ'_{cons} (kPa)	E_0 (MPa)	$E_{30\%}$ (MPa)	$E_{50\%}$ (MPa)	$E_{75\%}$ (MPa)
A	50	32,26	2,54	2,71	2,98
B	100	54,94	8,13	7,13	7,02
D	200	128,17	25,63	18,15	15,16



Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.11.21 07:30:47+00'00'



Guarda, 13 de outubro de 2025

O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
Carlos Rodrigues
Especialista em Geotecnia OE nº 27410
Doutor em Engenharia Civil FCTUC

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA (LNEC - E 239 - 1970)

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

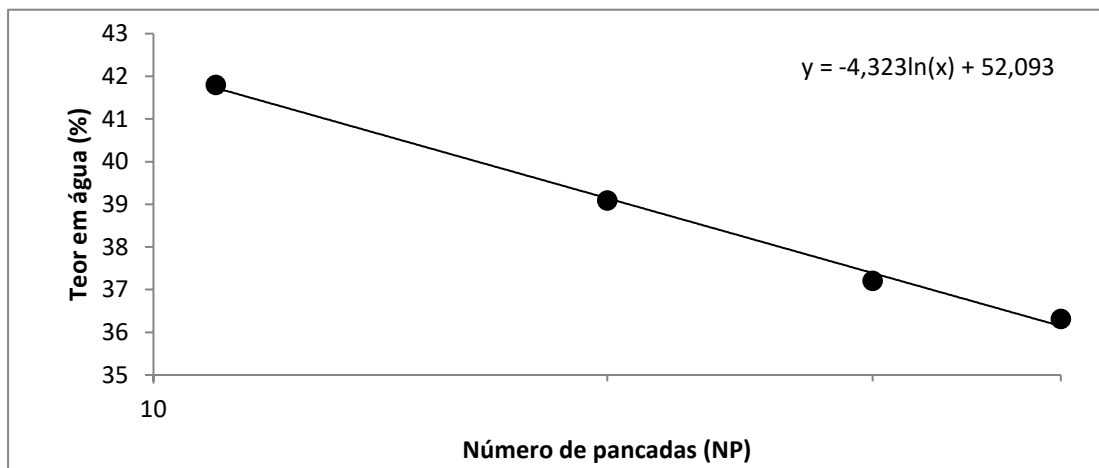
Amostra: S02-Tu-CAS

Profundidade: (4,10-4,70 m)

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	11	20	30	40
Cápsula n.º	19	21	25	24
Massa da cápsula (g)	24,94	25,03	25,34	25,35
Massa da cápsula+solo húmido (g)	31,25	30,51	30,65	32,67
Massa da cápsula+solo seco (g)	29,39	28,97	29,21	30,72
Teor de humidade (%)	41,80	39,09	37,21	36,31



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	16	18	20	23
Massa da cápsula (g)	25,28	25,59	25,28	25,36
Massa da cápsula+solo húmido (g)	28,07	28,03	28,48	28,57
Massa da cápsula+solo seco (g)	27,32	27,40	27,65	27,73
Teor de humidade (%)	36,76	34,81	35,02	35,44

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	38,18
Limite de Plasticidade (LP)	35,51
Índice de Plasticidade (IP)	2,67

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.11.21 07:30:03+00'00'

Guarda, 29 de outubro de 2025



O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA (LNEC - E 239 - 1970)

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

Amostra: S02-Tu-CAS

Profundidade: (4,10-4,70 m)

Análise Granulométrica
Amostra: S02-Tu-CAS (4,10-4,70 m)

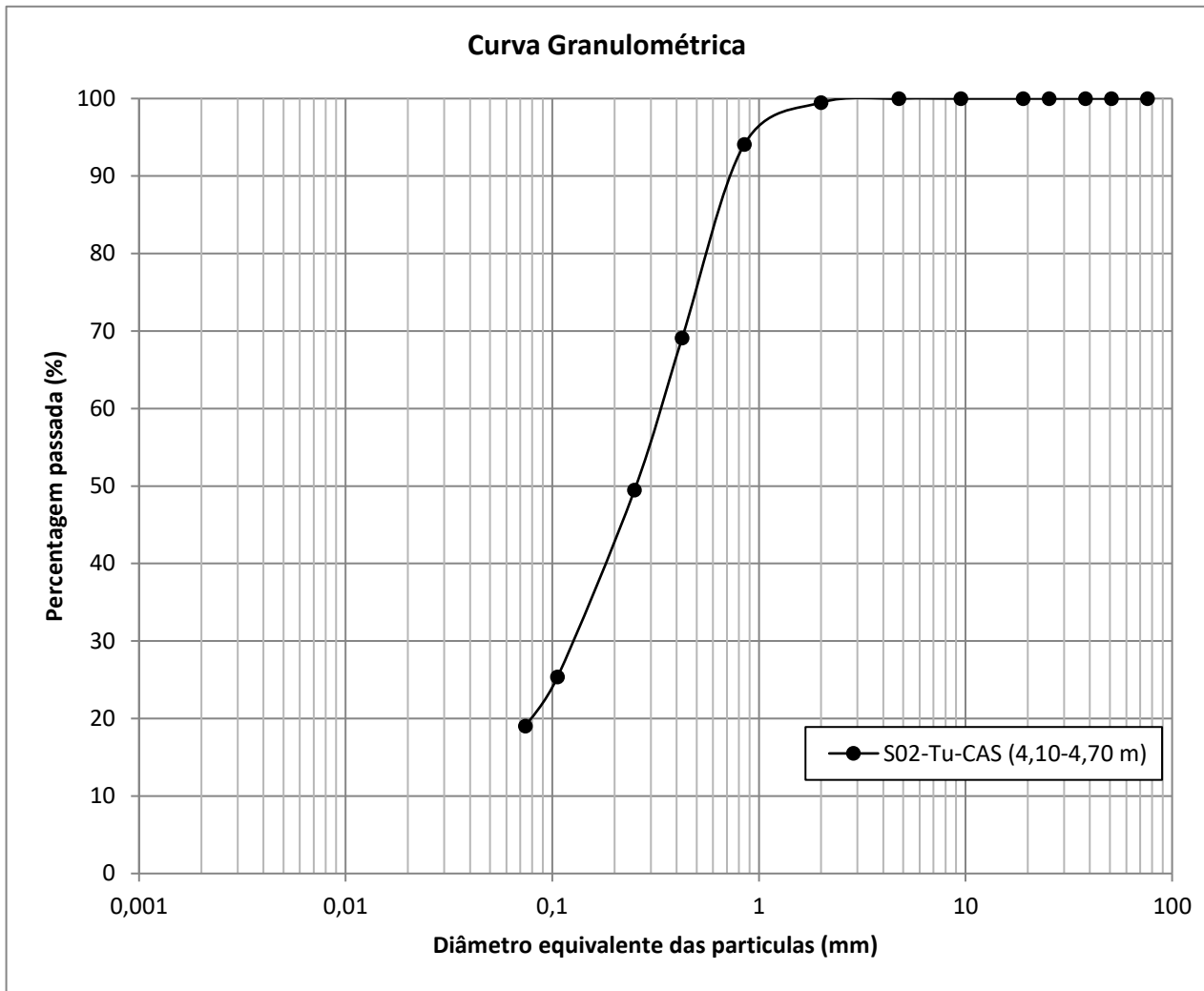
Peso total da amostra	$m_t =$	350,49
Peso retido no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	$m_{10} =$	1,80
Peso passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	$m'_{10} =$	348,69

PENEIRAÇÃO

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)				
Peneiros (mm)	Peso retido (g) (m_x)	% retida no peneiro $N_x = (m_x/m_t) \times 100$	% acumulada retida N'_x	% acumulada que passa $N''_x = 100 - N'_x$
76,1 (3")	0,00	0,00	0,00	100,00
50,8 (2")	0,00	0,00	0,00	100,00
38,1 (1 1/2")	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 (1")	0,00	0,00	0,00	100,00
19,0 (3/4")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 (3/8")	0,00	0,00	0,00	100,00
4,76 (nº4)	0,00	0,00	0,00	100,00
2,00 (nº10)	1,80	0,51	0,51	99,49

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)					
Massa da amostra a ensaiar, m_a (g) =		101,43			
Teor de humidade da amostra a ensaiar, W_a (%) =		1,35			
Massa de solo após pré-tratamento, m_b (g) =		100,08			
Percentagem de material retido no nº 10 ; $N'_{10} =$		0,51			
$N''_{10} = (m'_{10}/m_t) \times 100 =$		99,49			
Peneiros	Peso retido (g) (m_x)	% retida no peneiro $n'_x = (m_x/m_b) \times 100$	% retida acumulada	% acumulada passada n''_x	% acum. passada (total) $N''_x = n''_x * ((100 - N'_{10})/100)$
0.850 (nº20)	5,44	5,44	5,44	94,56	94,08
0.425 (nº40)	25,14	25,12	30,56	69,44	69,09
0.250 (nº60)	19,72	19,70	50,26	49,74	49,48
0.106 (nº140)	24,28	24,26	74,52	25,48	25,35
0.074 (nº200)	6,37	6,36	80,88	19,12	19,02

Análise Granulométrica
Amostra: S02-Tu-CAS (4,10-4,70 m)



D10 = -
D30 = -
D60 = -

Coefficiente de Uniformidade; C_u = -
Coefficiente de Curvatura; C_c = -

Guarda, 29 de outubro de 2025

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.11.21 07:28:22+00'00'



O Director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA NATURAL

NP - 84 (1965)

-RELATÓRIO-

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

Amostra: S02-Tu-CAS

Profundidade (m): [4,10-4,70 m]

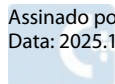
TEOR EM ÁGUA
Amostra: S02-Tu-CAS (4,10-4,70 m)

Cápsula n.º =	10	3	4
Peso da cápsula (g) =	285,69	283,29	268,29
Peso da cápsula + solo húmido (g) =	950,57	918,38	889,66
Peso da cápsula + solo seco (g) =	864,42	835,90	815,71
Peso de água (g) =	86,15	82,48	73,95
Peso de solo (g) =	578,73	552,61	547,42
Teor em água (%) =	14,89	14,93	13,51

Teor em água natural (%) =	14,44
----------------------------	-------

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**

Data: 2025.11.21 07:29:31+00'00'



Guarda, 28 de outubro de 2025



O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

-RELATÓRIO-

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

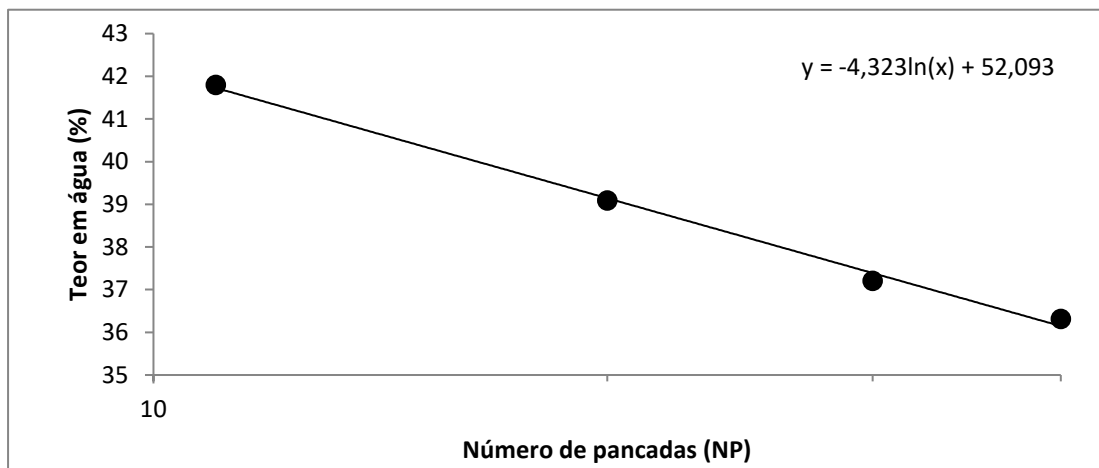
Amostra: S02-Tu-CAS

Profundidade: [4,10-4,70 m]

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	11	20	30	40
Cápsula n.º	19	21	25	24
Massa da cápsula (g)	24,94	25,03	25,34	25,35
Massa da cápsula+solo húmido (g)	31,25	30,51	30,65	32,67
Massa da cápsula+solo seco (g)	29,39	28,97	29,21	30,72
Teor de humidade (%)	41,80	39,09	37,21	36,31



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	16	18	20	23
Massa da cápsula (g)	25,28	25,59	25,28	25,36
Massa da cápsula+solo húmido (g)	28,07	28,03	28,48	28,57
Massa da cápsula+solo seco (g)	27,32	27,40	27,65	27,73
Teor de humidade (%)	36,76	34,81	35,02	35,44

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	38,18
Limite de Plasticidade (LP)	35,51
Índice de Plasticidade (IP)	2,67

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.11.21 07:30:03+00'00'

Guarda, 29 de outubro de 2025



O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO

AMOSTRA	Prof. (m)	Passado	Passado	Passado	Passado	Limites de consistência			Cu	Cc
		#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP		
S32-P69.1	12,50-13,5	95,94	87,26	35,03	12,34	29,59	21,89	7,70	-	-
S02-Tu-CAS	4,10-4,70	100,00	99,49	69,09	19,02	38,18	35,51	2,67	-	-
S02-Tu-CAS	10.50-11.10	99,42	96,99	82,64	39,73	49,53	42,84	6,69	-	-
S03-Tu-CAS	4.50-5,10	92,35	85,52	56,80	34,51	27,65	22,67	4,98	-	-
S01-Tu-VNG	5,00-6,00	99,07	83,47	52,71	32,06	45,28	39,12	6,16	-	-

AMOSTRA	Prof. (m)	USCS	AASHTO	% seixo	% areia	% finos	Nome do grupo USCS
S32-P69.1	12,50-13,5	SC	A-2-4	4,06	83,60	12,34	areia argilosa
S02-Tu-CAS	4,10-4,70	SM	A-2-4	0,00	80,98	19,02	areia siltosa
S02-Tu-CAS	10.50-11.10	SM	A-5	0,58	59,69	39,73	areia siltosa
S03-Tu-CAS	4.50-5,10	SM	A-2-4	7,65	57,84	34,51	areia siltosa
S01-Tu-VNG	5,00-6,00	SM	A-2-5	0,93	67,01	32,06	areia siltosa