

ENSAIO TRIAXIAL

ASTM D 4767

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia SA

Refª: S04-Tu-VNG

Profundidade: 12,0-13,0

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; $\varnothing$ =	72,0	(mm)
Área média das secções; A =	4071,50	(mm ²)
Altura média dos provetes; H =	135,33	(mm)

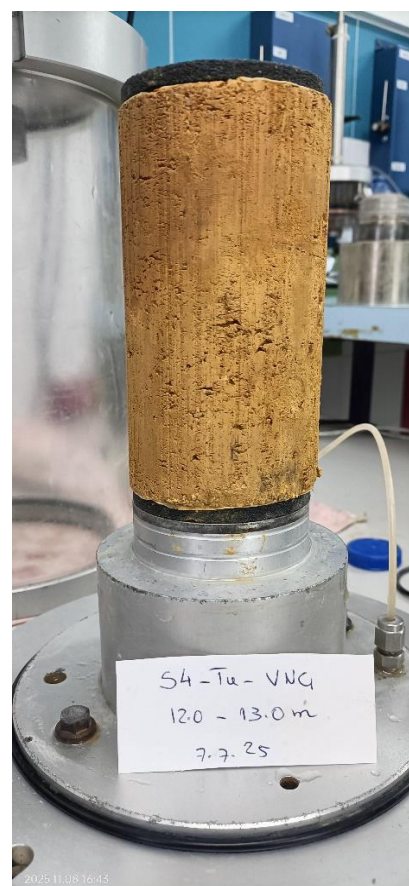
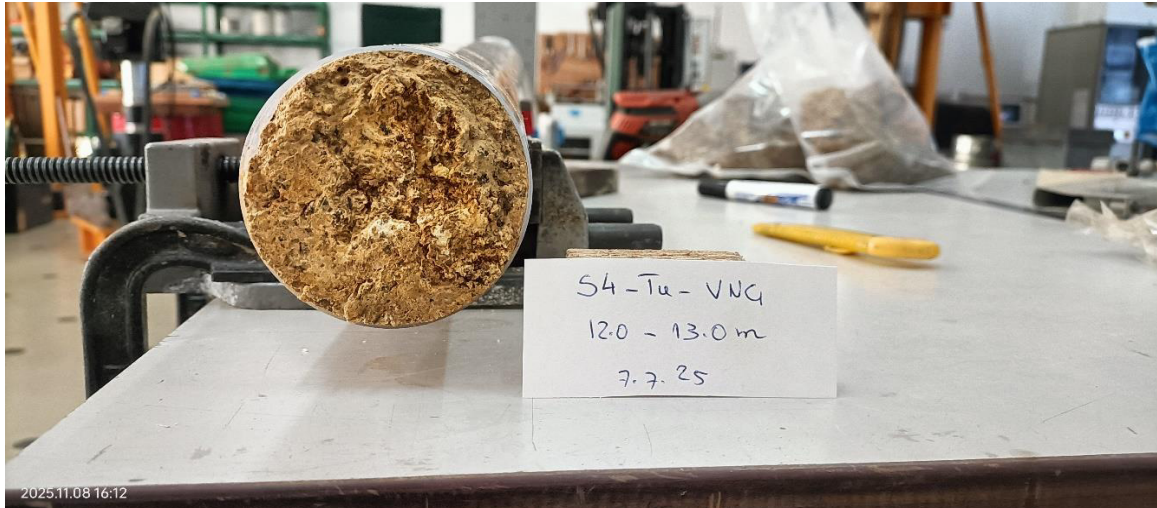
Equipamento de ensaio : Célula triaxial, com controlo automático das tensões e leitura automatizada de todos os dispositivos de leitura.

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: S10-Tu-VNG (12,0-13,0 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	100	136,0	72,0	19,74	15,86	0,658	99,75
B	200	135,0	72,0	19,76	15,83	0,665	100,26
C	300	135,0	72,0	18,88	14,81	0,762	95,82

Fase de saturação dos provetes

Procedimento :

Fase 1 - Aplicação de uma percolação ascendente de água durante cerca de 30 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	100	136,0	72,0	24,5	300,0	0,987	OK
B	200	135,0	72,0	24,8	299,0	0,994	OK
C	300	135,0	72,0	27,4	302,3	0,993	OK

Fase de consolidação

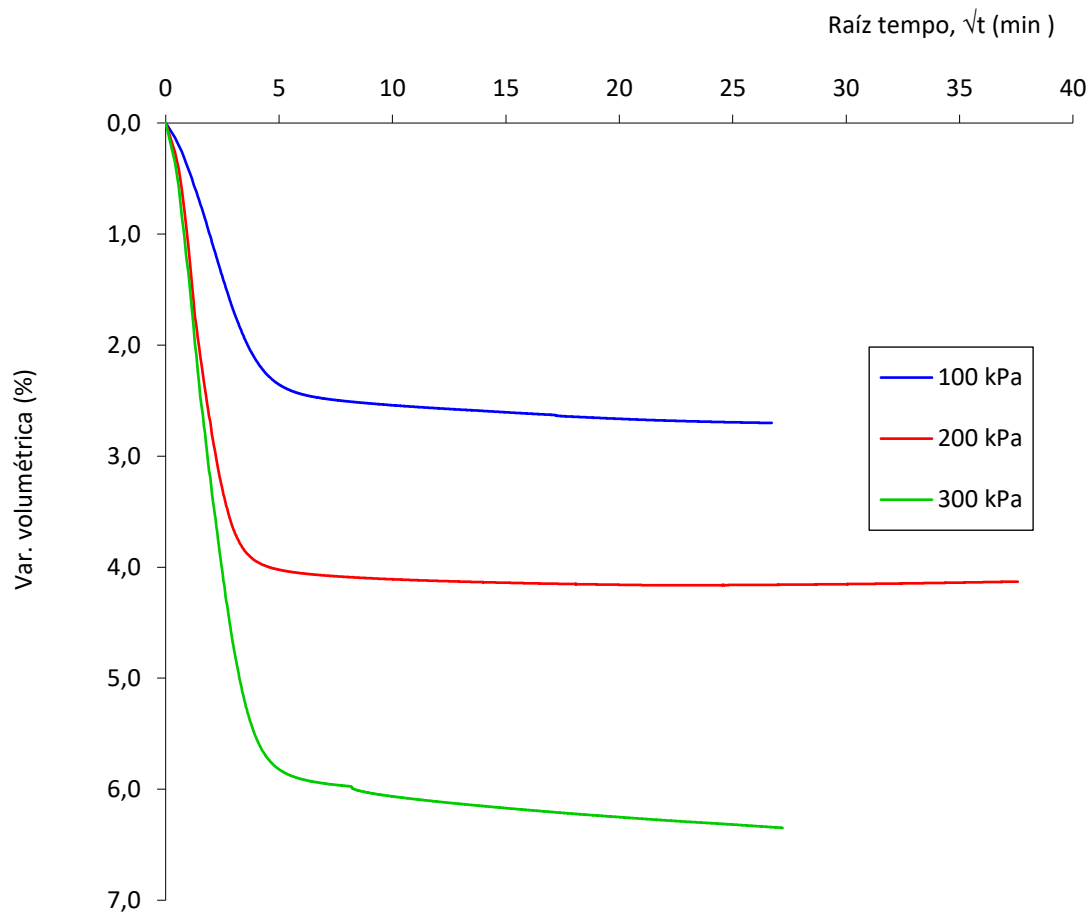
Tipo de consolidação : Isotrópica

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	399	299	100	2,70	19,803	2,70E-04	104,1
B	500	299	201	4,13	6,760	2,06E-04	300,4
C	599	299	300	6,02	10,890	2,01E-04	186,5

ENSAIO TRIAXIAL - CIU (com medição da pressão intersticial)
Amostra: S10-Tu-VNG (12,0-13,0 m)



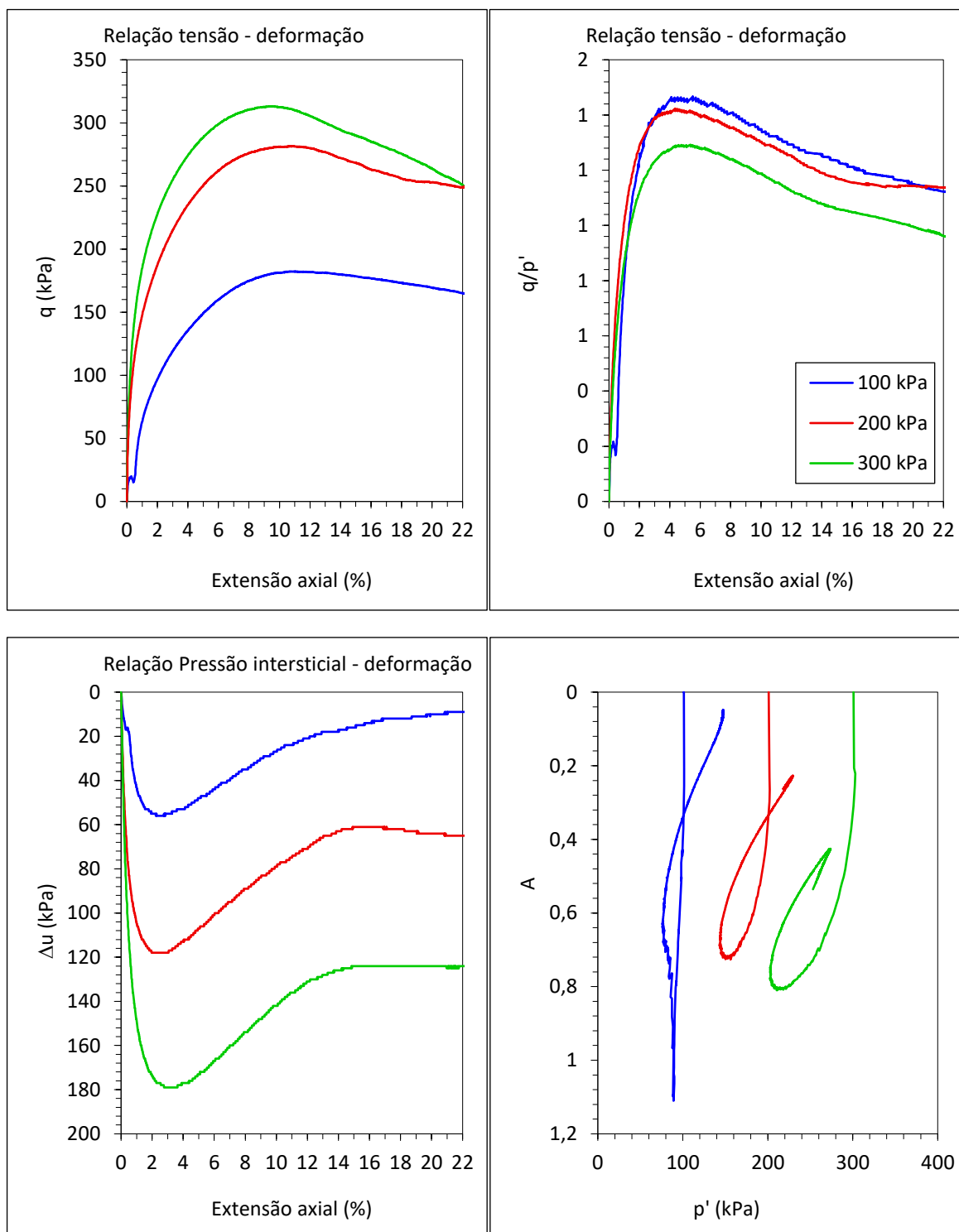
Fase de corte

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](#)

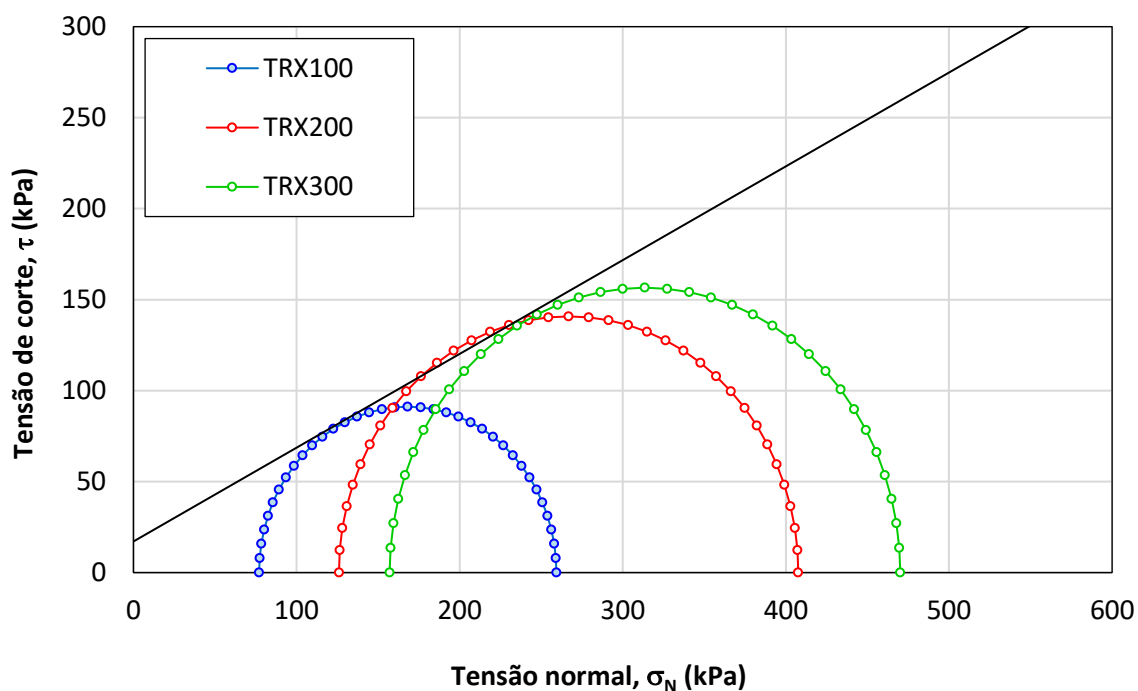


Parâmetros de resistência ao corte:

Critério de rotura = $q_{máx}$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	100	0,132	259,3	77,0	323,0	10,7
B	200	0,266	407,6	126,0	374,0	10,9
C	300	0,460	470,2	157,0	443,0	9,5

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

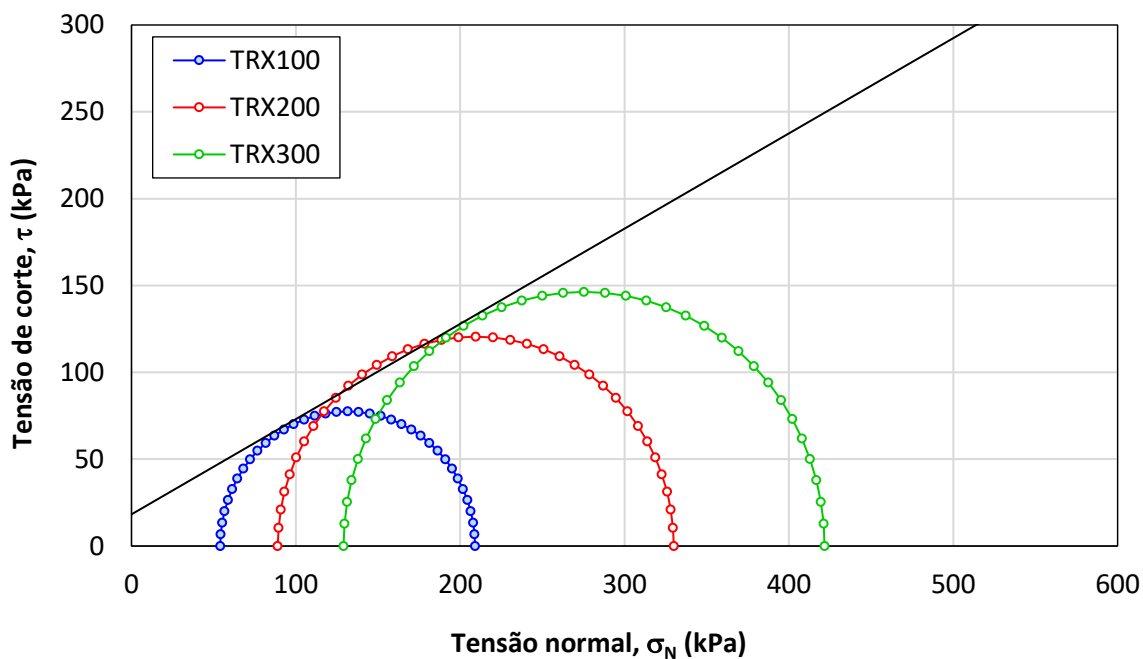
c' (kPa) = 17,1
 ϕ' (°) = 27,3

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	100	0,303	209,0	54,0	346,0	5,52
B	200	0,465	330,0	89,0	411,0	4,37
C	300	0,387	421,7	129,0	471,0	5,35

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

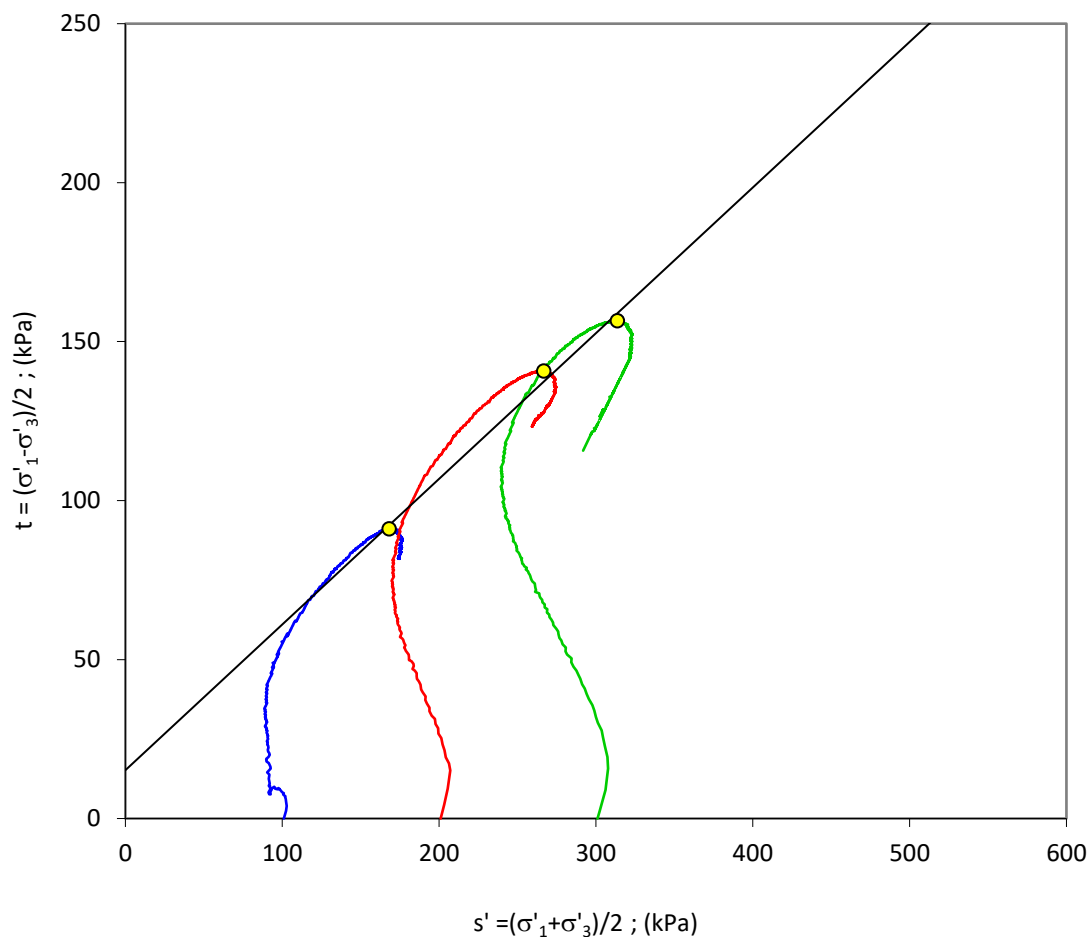
Tensões efetivas

$$c' \text{ (kPa)} = 18,3$$

$$\phi' \text{ (}^\circ\text{)} = 28,7$$

Parâmetros de resistência ao corte:

TRAJETÓRIA DAS TENSÕES NO ESPAÇO $t - s'$



Critério de rotura = $q_{máx}$

$m = 0,458$

$a \text{ (kPa)} = 15,21$

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

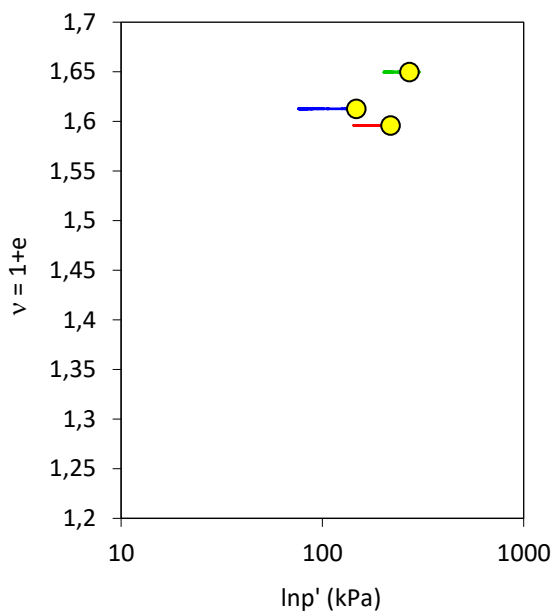
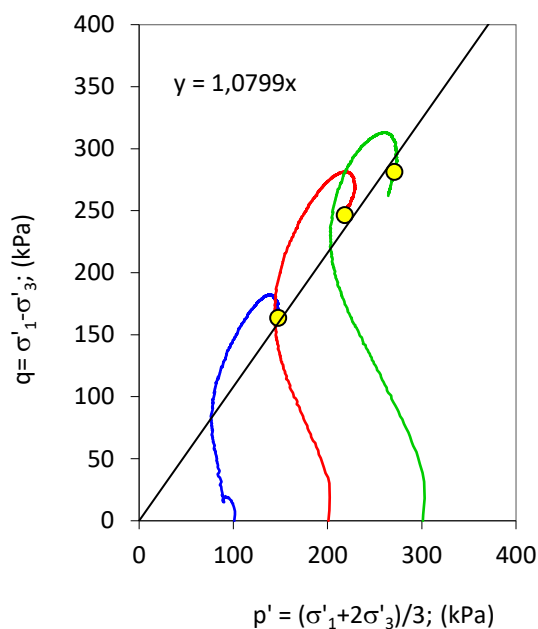
$m = 0,481$

$a \text{ (kPa)} = 16,01$

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	100	24,5	2,76	147,5	163,6	1,613
B	200	24,8	2,81	218,1	246,4	1,596
D	300	27,4	2,59	270,8	281,3	1,650



Termo dependente M =	1,080
sin a (°) =	0,46
Termo indep. - a (kPa) =	0,00

Estado Crítico

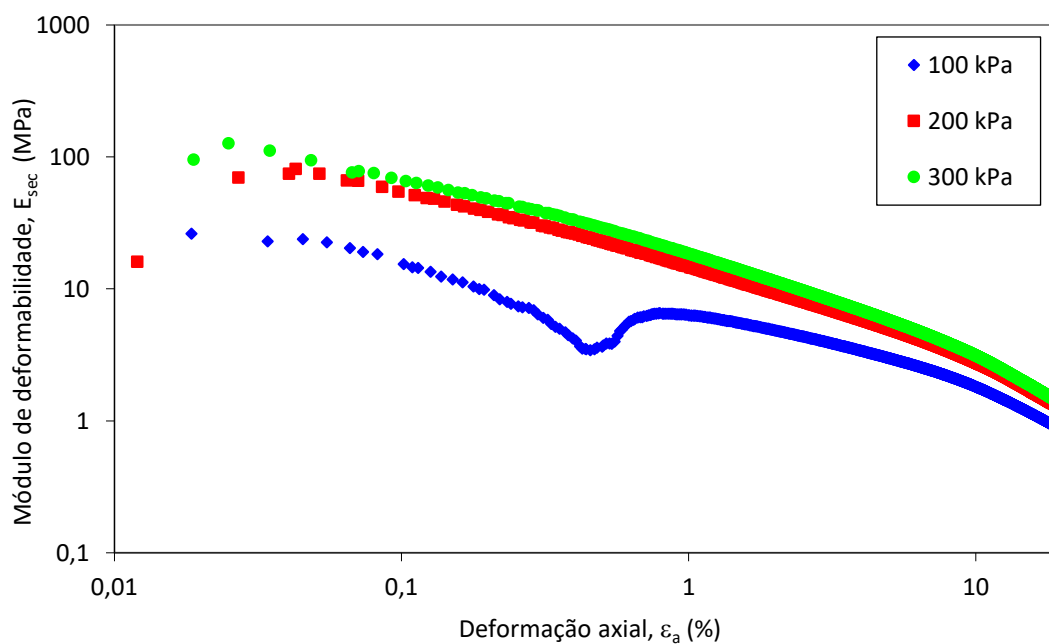
c' (kPa) =	0,0
ϕ' (°) =	27,2
M =	1,080

Γ =	nd
λ =	nd

Características de deformabilidade

Módulo de deformabilidade secante

Provete	σ'_{cons} (kPa)	E_0 (MPa)	$E_{30\%}$ (MPa)	$E_{50\%}$ (MPa)	$E_{75\%}$ (MPa)
A	100	26,18	6,50	5,13	3,35
B	200	81,18	34,27	16,17	7,42
D	300	126,31	49,23	25,82	10,59



Guarda, 17 de novembro 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: S04-Tu-VNG

Profundidade: (12,00-13,00 m)

Análise Granulométrica
Amostra: S04-Tu-VNG (12,00-13,00 m)

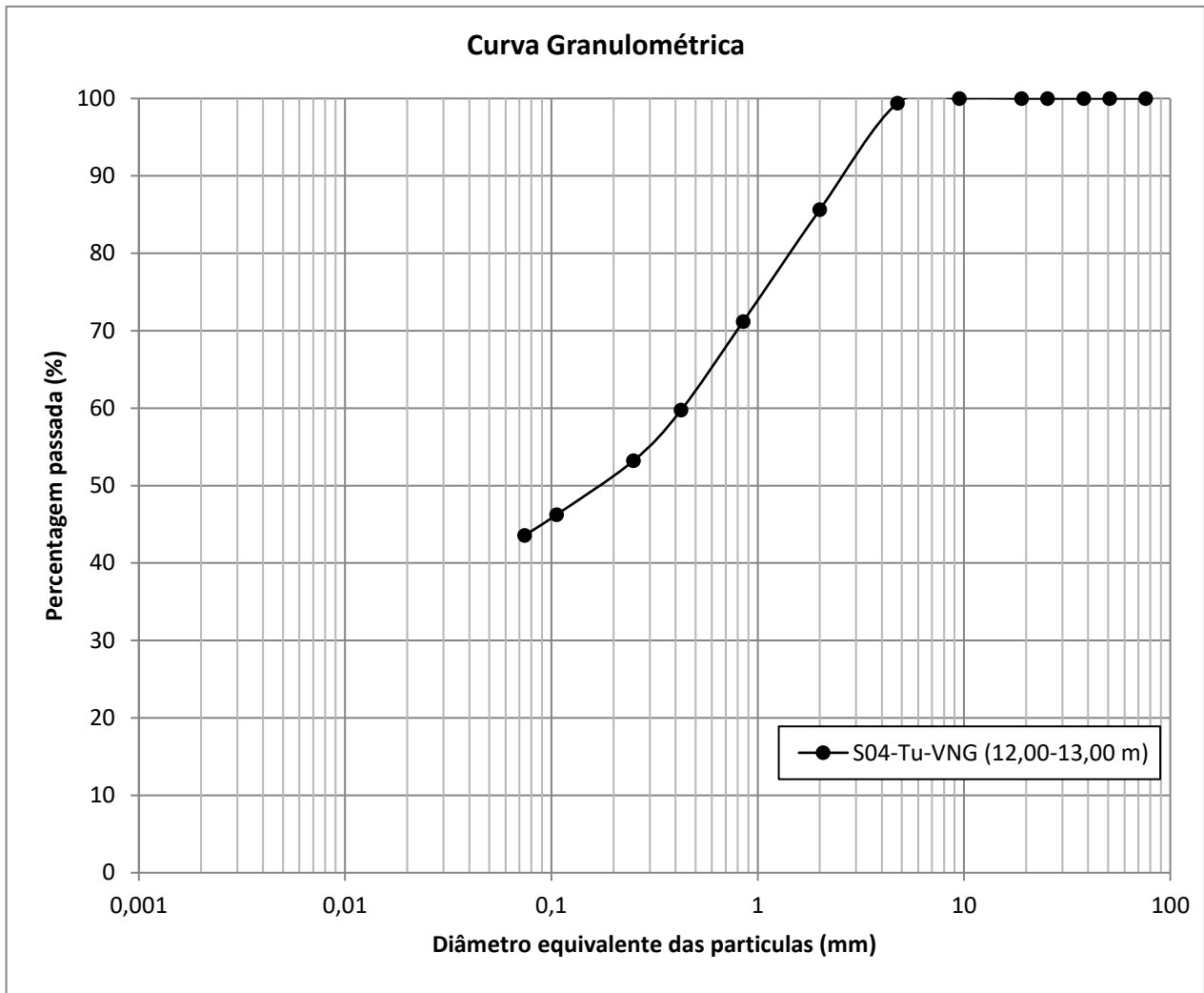
Peso total da amostra	$m_t =$	351,29
Peso retido no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	$m_{10} =$	50,48
Peso passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	$m'_{10} =$	300,81

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)	2,20	0,63	0,63	99,37
2,00 (nº10)	48,28	13,74	14,37	85,63

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)					
Massa da amostra a ensaiar, m_a (g) =		100,26			
Teor de humidade da amostra a ensaiar, W_a (%) =		0,75			
Massa de solo após pré-tratamento, m_b (g) =		99,52			
Percentagem de material retido no nº 10 ; $N'_{10} =$		14,37			
$N''_{10} = (m'_{10}/m_t) \times 100 =$		85,63			
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)	16,79	16,87	16,87	83,13	71,18
0.425 (nº40)	13,3	13,36	30,24	69,76	59,74
0.250 (nº60)	7,59	7,63	37,86	62,14	53,21
0.106 (nº140)	8,09	8,13	45,99	54,01	46,25
0.074 (nº200)	3,14	3,16	49,15	50,85	43,55

Análise Granulométrica
Amostra: S04-Tu-VNG (12,00-13,00 m)



D10 = -
D30 = -
D60 = -

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

Guarda, 17 de novembro de 2025

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. **Identificação:** Areia siltosa
Amostra: S04-Tu-VNG
Profundidade (m): (12,00-13,00 m)

TEOR EM ÁGUA
Amostra: S04-Tu-VNG (12,00-13,00 m)

Cápsula n.º =	8	10	18
Peso da cápsula (g) =	284,12	285,76	270,21
Peso da cápsula + solo húmido (g) =	1398,53	1392,98	1327,88
Peso da cápsula + solo seco (g) =	1179,43	1172,91	1100,19
Peso de água (g) =	219,10	220,07	227,69
Peso de solo (g) =	895,31	887,15	829,98
Teor em água (%) =	24,47	24,81	27,43

Teor em água natural (%) =	25,57
----------------------------	-------

Guarda, 17 de novembro 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

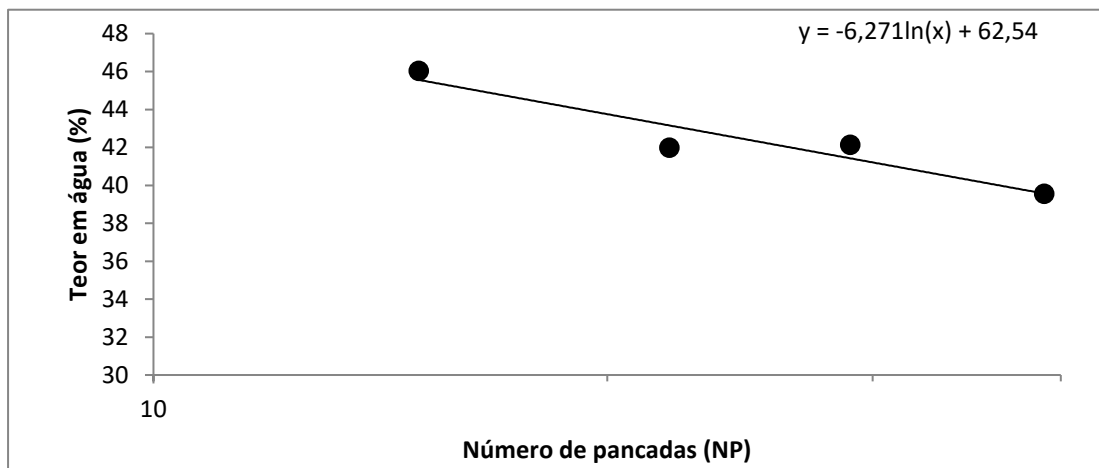
Amostra: S04-Tu-VNG

Profundidade: (12,00-13,00 m)

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	15	22	29	39
Cápsula n.º	21	20	16	18
Massa da cápsula (g)	25,04	25,28	25,14	25,38
Massa da cápsula+solo húmido (g)	31,13	30,59	30,47	30,32
Massa da cápsula+solo seco (g)	29,21	29,02	28,89	28,92
Teor de humidade (%)	46,04	41,98	42,13	39,55



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	23	30	31	32
Massa da cápsula (g)	25,39	25,18	25,43	25,00
Massa da cápsula+solo húmido (g)	29,20	29,93	29,37	30,32
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,26	28,75	28,40	29,01
Teor de humidade (%)	32,75	33,05	32,66	32,67

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	42,35
Limite de Plasticidade (LP)	32,78
Índice de Plasticidade (IP)	9,57

Guarda, 17 de novembro de 2025

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

DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

- RELATÓRIO -

Norma Portuguesa: NP 83

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

Amostra: S04-Tu-VNG

Profundidade: (12,00-13,00 m)

DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

Número do picn.	109	23	20
tº de Calib Pic.	26	25	23
d_4^{t1}	0,99681	0,99708	0,99757
m_1 (g)	41,92	44,62	44,64
m_2 (g)	141,26	144,09	143,50
tx tº de ensaio	19	19	19
d_4^{tx}	0,99843	0,99843	0,99843
d_4^{tx} / d_4^{t1}	1,001625	1,001354	1,000862

m1 - massa do picnómetro

m2 - massa do picnómetro cheio de água, à tº de calibração

Número do picn.	109	23	20
m3 (g)	141,42	144,22	143,59
m4 húmido	23,08	21,81	20,72
m4 seco	22,892	21,633	20,552
m5	155,81	157,78	156,47
k	1,000	1,000	1,000
G	2,692	2,678	2,681

m3 - massa do picnómetro cheio de água à tº do ensaio (corrigida)

m4 - massa em gramas do provete seco

m5 - massa em gramas do picnómetro com o e a água à tº do ensaio

k - quociente da densidade da água à temperatura do ensaio pela densidade da água a 20°C

Cap	8		
Pcap	24,96	PH20 =	0,15
Pcap+SW	43,42	PSS =	18,31
Pcap+SS	43,27	w (%) =	0,819

Densidade das partículas sólidas

$G_s =$	2,684
---------	-------

Guarda, 18 de novembro 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		
S10 T-SL4	(7,50-8,20 m)	100,00	99,37	81,22	40,34	35,68	30,15	5,53	-	-
S04 Tu-VNG	(3,0-4,0 m)	99,90	90,45	67,21	42,85	42,60	32,74	9,86	-	-
S04 Tu-VNG	(12,0-13,0 m)	99,37	85,63	59,74	43,55	42,35	32,78	9,57	-	-
S20 T-SL4	(9,50-10,50 m)	99,27	98,52	53,92	21,82	39,78	37,44	2,34	-	-

AMOSTRA	Prof. (m)	USCS	AASHTO	% seixo	% areia	% finos	Nome do grupo USCS
S10 T-SL4	(7,50-8,20 m)	SM	A-4	0,00	59,66	40,34	areia siltosa
S04 Tu-VNG	(3,0-4,0 m)	SM	A-5	0,10	57,05	42,85	areia siltosa
S04 Tu-VNG	(12,0-13,0 m)	SM	A-5	0,63	55,82	43,55	areia siltosa
S20 T-SL4	(9,50-10,50 m)	SM	A-2-4	0,73	77,45	21,82	areia siltosa