

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (LNEC - E 196 - 1966)

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Identificação: Areia siltosa

Amostra: S05-TNEG1

Profundidade: [20,00-20,70 m]

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peso total da amostra	m_t (g) =	350,7
Peso retido no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	m_{10} (g) =	37,21
Peso passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	m'_{10} (g) =	313,49

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	0	100,00
50,8 (2")	0,00	0	0	100,00
38,1 (1 1/2")	0,00	0	0	100,00
25,4 (1")	0,00	0	0	100,00
19,0 (3/4")	0,00	0	0	100,00
9,51 (3/8")	0,00	0	0	100,00
4,76 (nº4)	4,39	1,25	1,25	98,75
2,00 (nº10)	32,82	9,36	10,61	89,39

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)					
Massa da amostra a ensaiar, m_a (g) =				100,20	
Teor de humidade da amostra a ensaiar, W_a (%) =				0,48	
Massa de solo após pré-tratamento, m_b (g) =				99,72	
Percentagem de material retido no nº 10 ; N'_{10} =				10,61	
$N''_{10} = (m'_{10}/m_t) \times 100 =$				89,39	
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)	18,16	18,21	18,21	81,79	73,11
0.425 (nº40)	14,72	14,76	32,97	67,03	59,92
0.250 (nº60)	8,74	8,76	41,74	58,26	52,08
0.106 (nº140)	10,70	10,73	52,47	47,53	42,49
0.074 (nº200)	3,74	3,75	56,22	43,78	39,14

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS:

D10 =	0,012	mm	Coefficiente de Uniformidade:
D30 =	0,047	mm	Cu = 35,83
D60 =	0,430	mm	Coefficiente de Curvatura:
			Cc = 0,43

SEDIMENTAÇÃO

Densímetro - Gilson ASTM 151H

n.º = 294731

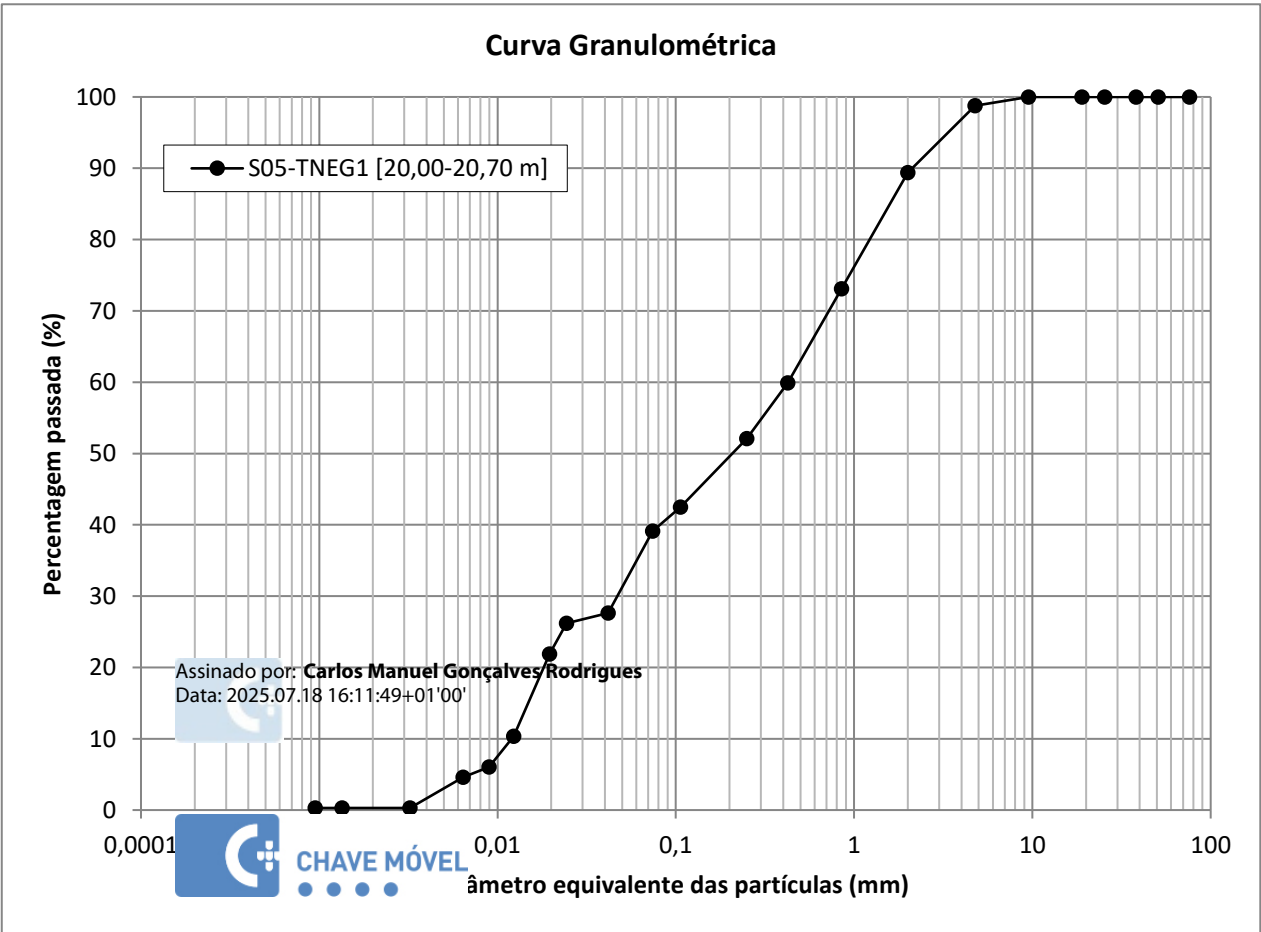
Data	Tempo (min)	Temp. (º C)	Temp. (º C)	C _T	C _A	Leituras (L _s)	L _c	Z _s (cm)	n _D (%)	N _D (%)	K	D (mm)
15/07/2025	1	24	24	0,0008	0,0058	1,024	1,0192	10,261	30,923	27,642	0,0130	0,0417
15/07/2025	3	24	24	0,0008	0,0058	1,023	1,0182	10,527	29,312	26,202	0,0130	0,0244
15/07/2025	5	24	24	0,0008	0,0058	1,020	1,015	11,326	24,481	21,883	0,0130	0,0196
15/07/2025	15	24	24	0,0008	0,0058	1,012	1,0072	13,457	11,596	10,366	0,0130	0,0123
15/07/2025	30	24	24	0,0008	0,0058	1,009	1,0042	14,257	6,7644	6,0467	0,0130	0,009
15/07/2025	60	24	24	0,0008	0,0058	1,008	1,0032	14,523	5,1538	4,607	0,0130	0,0064
15/07/2025	250	24	24	0,0008	0,0058	1,005	1,0002	15,322	0,322	0,2879	0,0130	0,0032
16/07/2025	1440	24	24	0,0008	0,0058	1,005	1,0002	15,322	0,322	0,2879	0,0130	0,0013
17/07/2025	2880	24	24	0,0008	0,0058	1,005	1,0002	15,322	0,322	0,2879	0,0130	0,0009

L_A = 1,005

C_M = 0,0002

G_s = 2,650

m_b = 99,72



Guarda, 17 de julho de 2025
O Director do Laboratório de Geotecnia do IPG

Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

-RELATÓRIO-

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Identificação: Areia siltosa

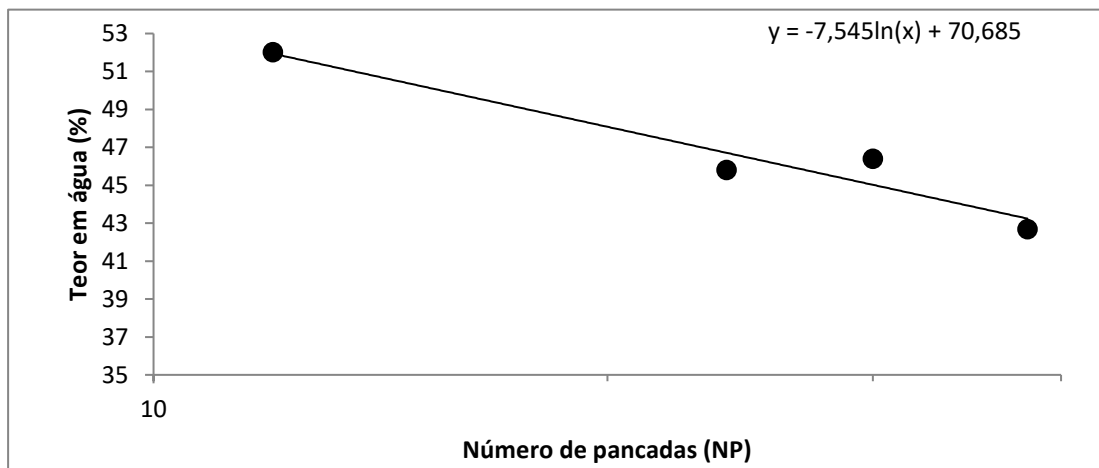
Amostra: S05-TNEG1

Profundidade: [20,00-20,70 m]

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	12	24	30	38
Cápsula n.º	11	10	8	9
Massa da cápsula (g)	25,55	24,99	24,96	25,51
Massa da cápsula+solo húmido (g)	30,46	30,21	30,04	30,29
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,78	28,57	28,43	28,86
Teor de humidade (%)	52,01	45,81	46,40	42,69



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	12	13	14	15
Massa da cápsula (g)	24,85	25,48	25,44	25,08
Massa da cápsula+solo húmido (g)	29,82	29,38	29,01	29,19
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,50	28,35	28,07	28,11
Teor de humidade (%)	36,16	35,89	35,74	35,64

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	46,40
Limite de Plasticidade (LP)	35,86
Índice de Plasticidade (IP)	10,54

Assinado por: Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues
Data: 2025.07.18 16:12:30+01'00'



Guarda, 17 de julho 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: S05-TNEG1

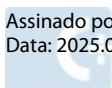
Profundidade (m): [20,00-20,70 m]

TEOR EM ÁGUA
Amostra: S05-TNEG1 (20,00-20,70 m)

Cápsula n.º =	4	18	8
Peso da cápsula (g) =	268,31	270,18	284,11
Peso da cápsula + solo húmido (g) =	896,32	877,46	889,80
Peso da cápsula + solo seco (g) =	764,28	734,57	745,68
Peso de água (g) =	132,04	142,89	144,12
Peso de solo (g) =	495,97	464,39	461,57
Teor em água (%) =	26,62	30,77	31,22

Teor em água natural (%) =	29,54
----------------------------	-------

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.07.18 16:10:34+01'00'



Guarda, 18 de julho de 2025



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

ENSAIO TRIAXIAL

ASTM D 4767

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia SA

Refª: S05-TNEG1

Profundidade: 20,00-20,70

Descrição: 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 =	113,17	(mm)

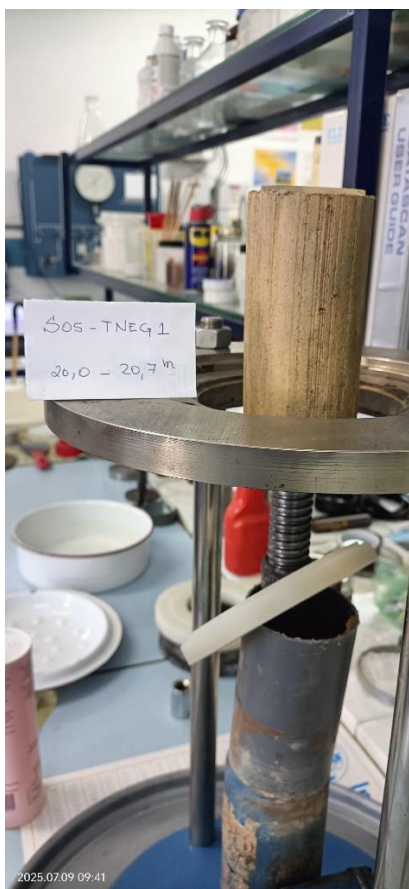
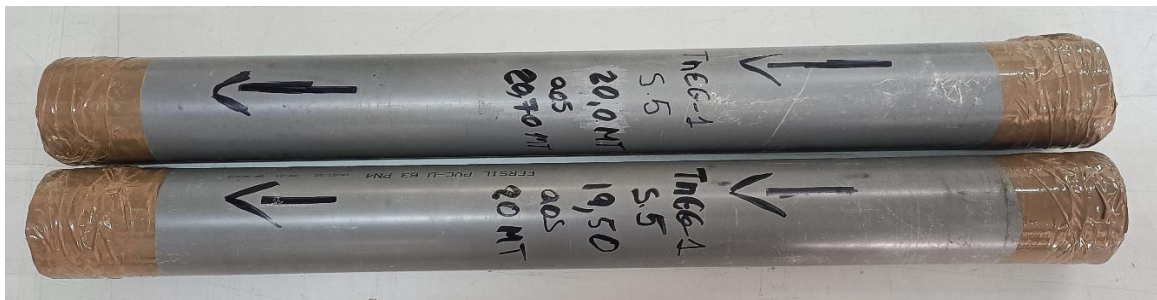
Equipamento de ensaio : Célula triaxial, com controlo automático das tensões e leitura automatizada de todos os dispositivos de leitura.

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: S05-TNG1 (20,00-20,70 m)



Propriedades dos provetes:

Provette	σ'_{cons} (kPa)	H_i (mm)	ϕ_i (mm)	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e_0	S_0 (%)
A	250	114,0	60,0	19,11	15,09	0,729	97,18
B	500	113,0	60,0	18,65	14,26	0,830	98,60
C	800	112,5	60,0	18,68	14,24	0,833	99,69

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 min, para facilitar a saturação completa do provete.

Fase 2 - Aplicação de uma contrapressão (u_{back}) mínima de 200 kPa, de um modo sequencial (30 kPa/h) de modo a garantir uma tensão efectiva de 25 kPa. Estas condições foram mantidas até o provete se considerar saturado.

Provette	σ'_{cons} (kPa)	Condições iniciais			Saturação		
		H_i (mm)	ϕ_i (mm)	w_i (%)	u_{back} (kPa)	B	Condição
A	250	114,0	60,0	26,6	199,0	0,955	OK
B	500	113,0	60,0	30,8	199,0	0,978	OK
C	800	112,5	60,0	31,2	201,0	0,960	OK

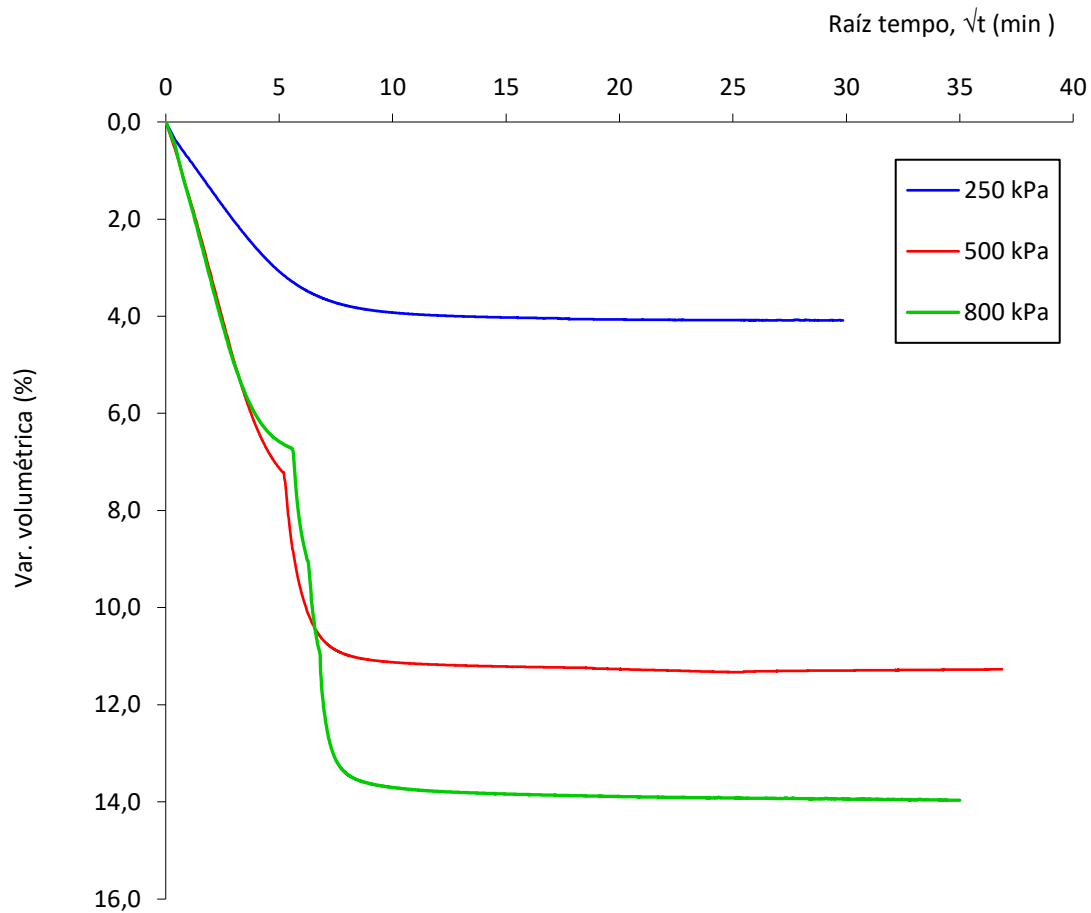
Fase de consolidação

Tipo de consolidação : Isotrópica

Procedimento :

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 considerou-se que a consolidação terminou quando a variação volumétrica apresentava tendência para estabilização.

Provette	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	449	200	249	4,08	33,063	1,63E-04	43,8
B	699	199	500	11,27	62,410	2,25E-04	22,8
C	899	99	800	13,97	82,810	1,75E-04	17,0



De modo a melhorar a equalização das tensões durante a consolidação e diminuir o risco de rompimento da membrana de revestimento o provete consolidado a 500 kPa de tensão efetiva, foi sujeito a 2 ciclos de consolidação de 250 kPa. O provete consolidado a 800 kPa de tensão efetiva, foi sujeito a 4 ciclos de consolidação de 200 kPa.

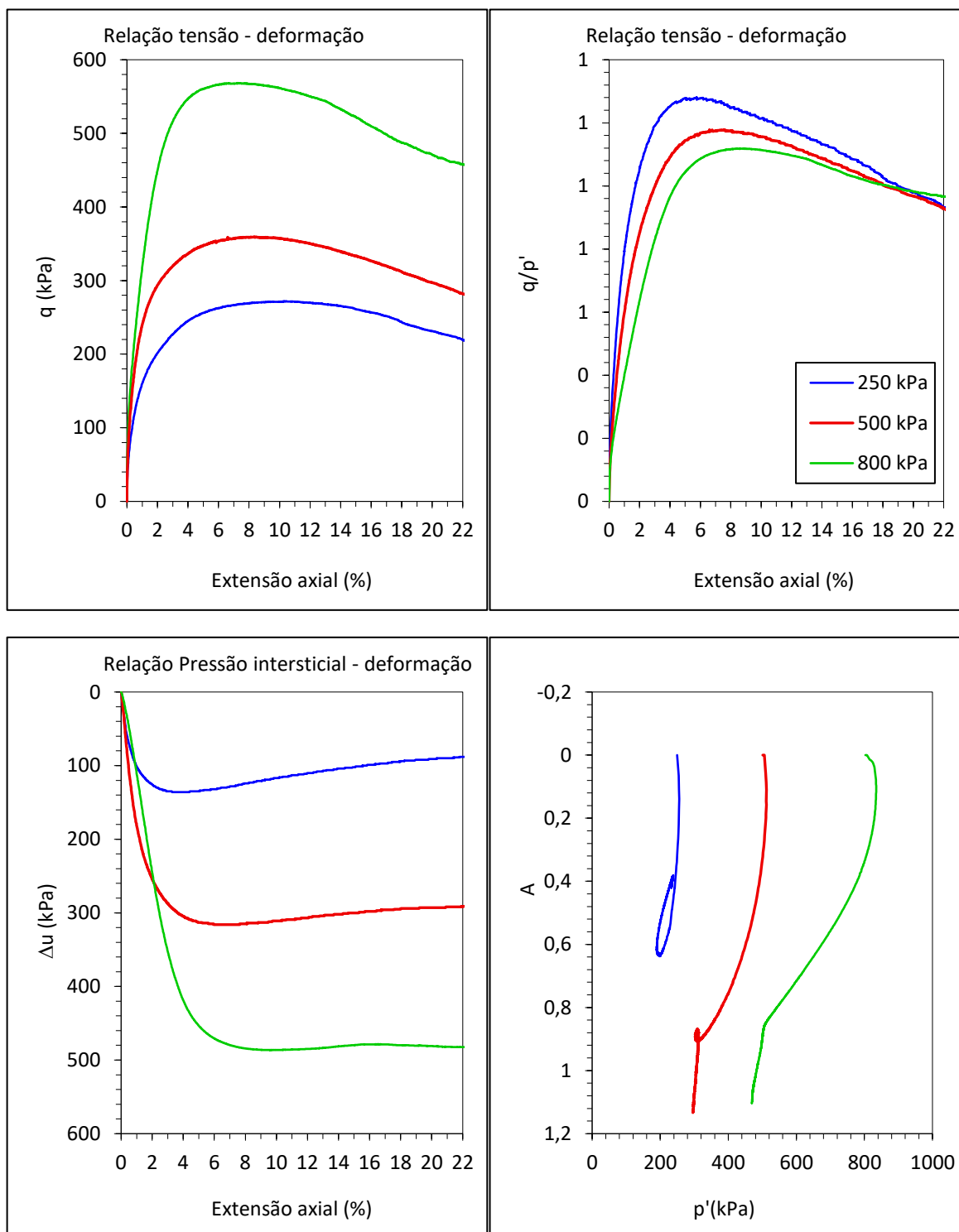
Fase de corte

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**

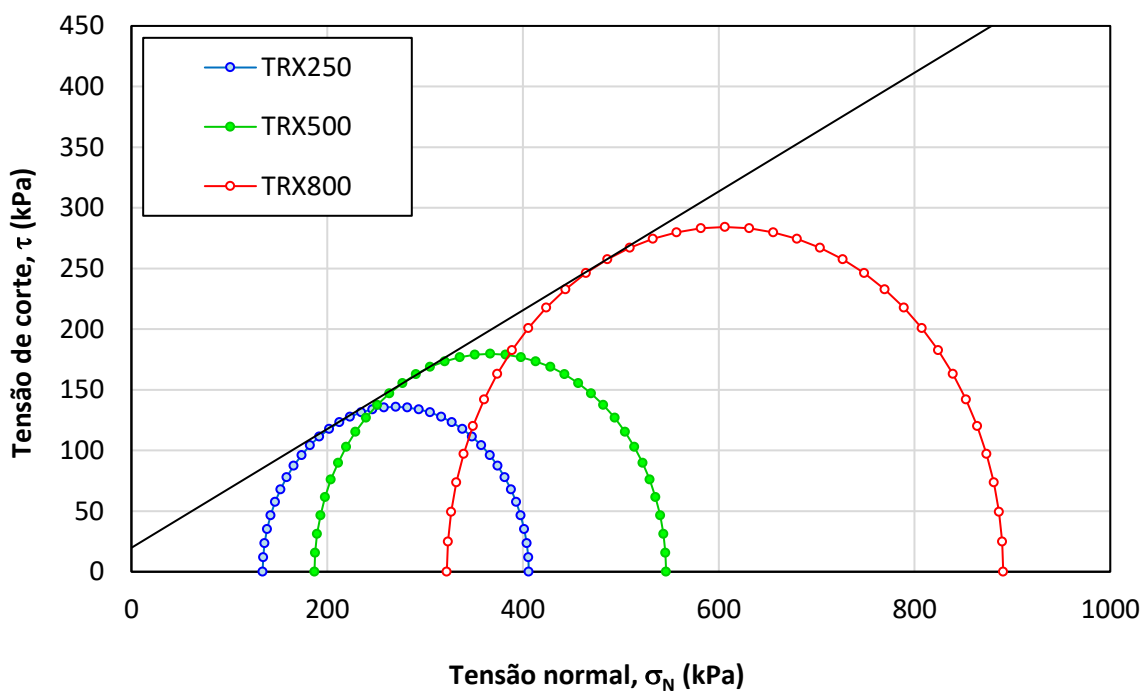


Parâmetros de resistência ao corte:

Critério de rotura = $q_{máx}$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	250	0,427	406,0	134,0	316,0	10,3
B	500	0,874	546,3	187,0	513,0	8,3
C	800	0,846	890,6	322,2	577,8	7,3

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

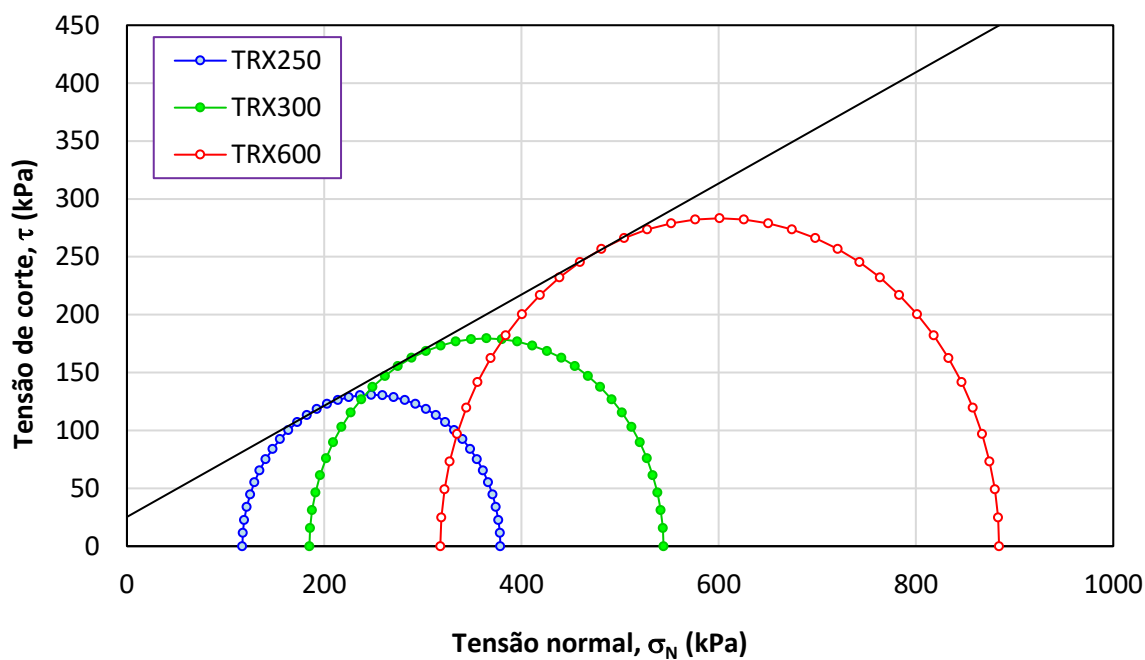
c' (kPa) =	19,8
ϕ' (°) =	26,1

Parâmetros de resistência ao corte:

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	250	0,508	378,6	117,0	333,0	5,77
B	500	0,880	544,0	185,0	515,0	6,60
C	800	0,857	884,2	317,7	582,3	8,58

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

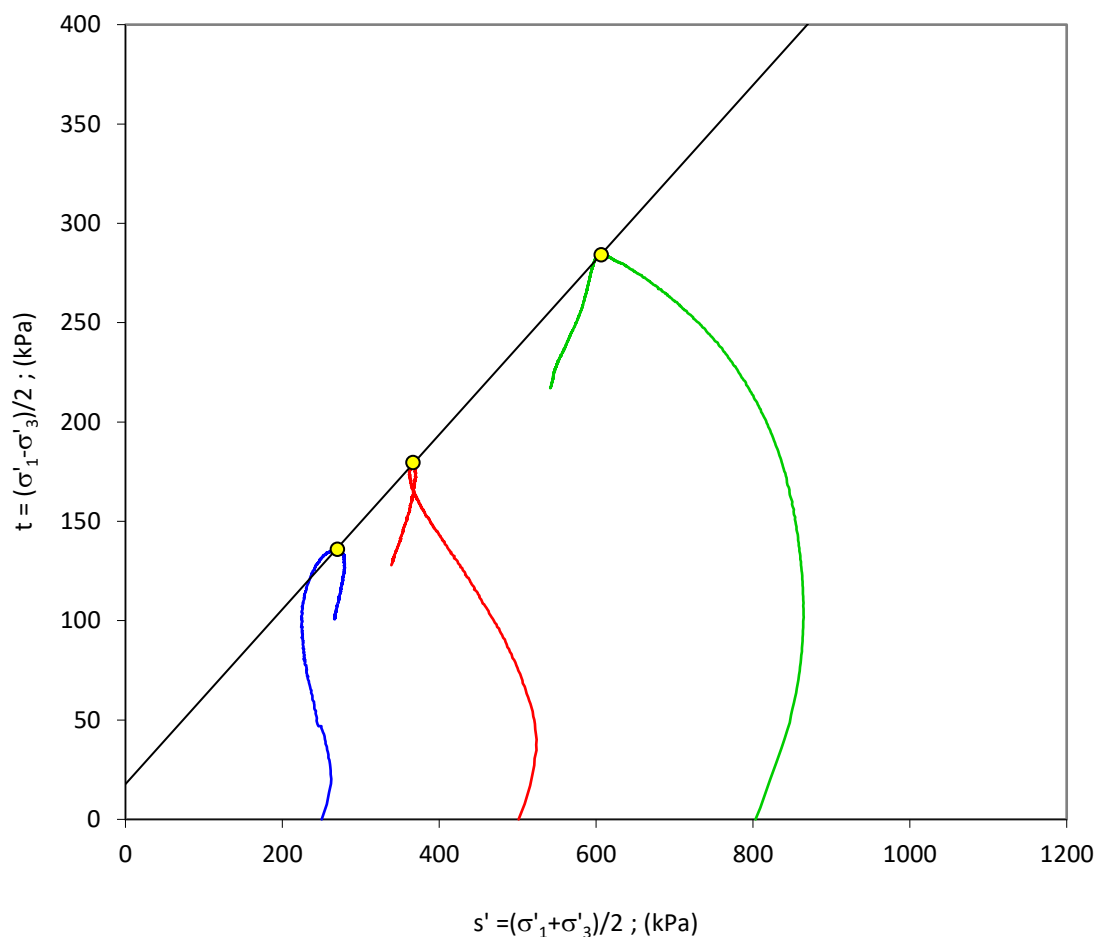
Tensões efetivas

c' (kPa) = 25,3

ϕ' (°) = 25,6

Parâmetros de resistência ao corte:

TRAJETÓRIA DAS TENSÕES NO ESPAÇO $t - s'$



Critério de rotura = $q_{máx}$

$m = 0,440$

a (kPa) = 17,75

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

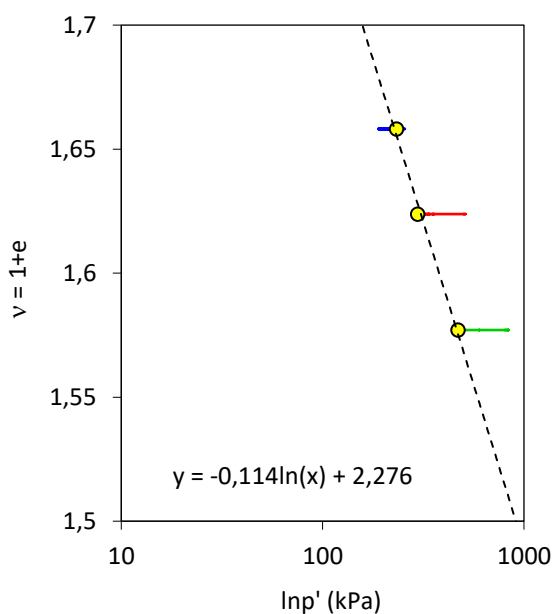
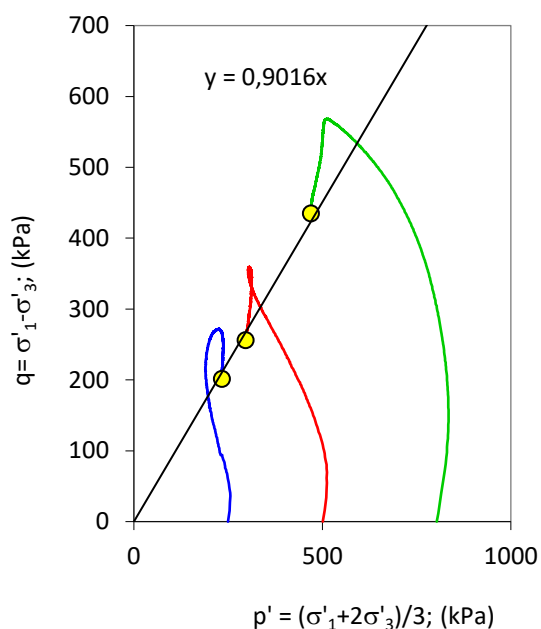
$m = 0,433$

a (kPa) = 22,82

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	250	18,8	2,213	233,1	201,3	1,658
B	500	21,2	2,213	296,3	255,9	1,624
D	800	14,5	2,340	469,5	434,8	1,577



Termo dependente M =	0,902
sin a (°) =	0,39
Termo indep. - a (kPa) =	0,00

Estado Crítico

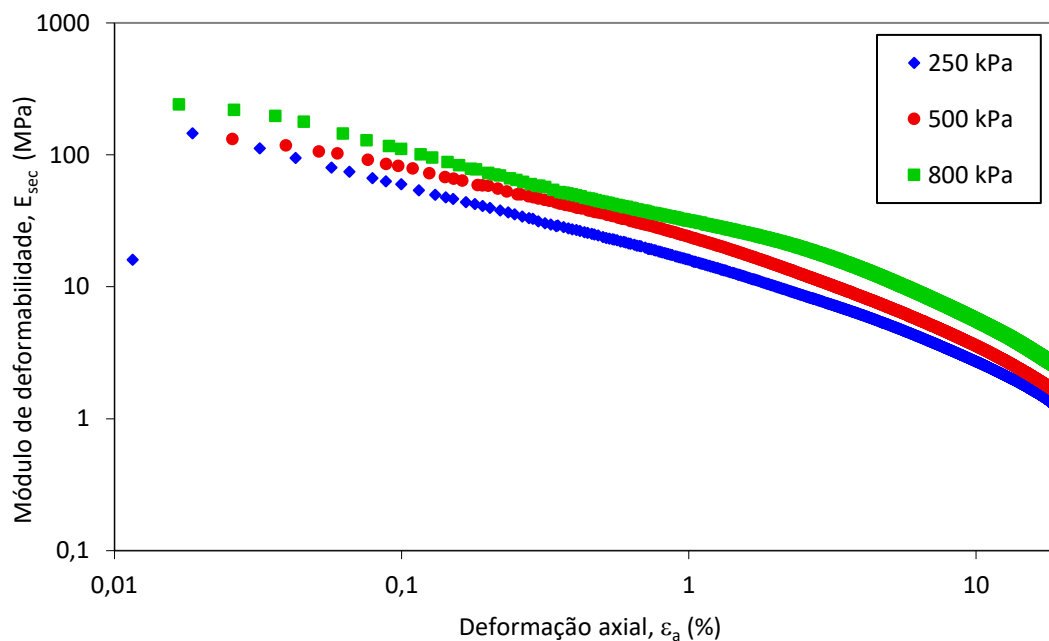
c' (kPa) =	0,0
ϕ' (°) =	23,1
M =	0,902

Γ =	2,276
λ =	0,114

Características de deformabilidade

Módulo de deformabilidade secante

Provete	σ'_{cons} (kPa)	E_0 (MPa)	$E_{30\%}$ (MPa)	$E_{50\%}$ (MPa)	$E_{75\%}$ (MPa)
A	250	145,33	39,71	20,55	9,80
B	500	131,78	63,63	36,26	18,76
D	800	240,57	60,04	35,02	24,13



Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.07.18 16:13:34+01'00'



Guarda, 17 de julho de 2025

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

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO

AMOSTRA	Prof. (m)	Passado	Passado	Passado	Passado	Limites de consistência			Cu	Cc
		#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP		
S31-Tu-VNG	3,00-4,00	85,27	79,28	57,54	32,04	36,66	27,92	8,74	-	-
S02-TMA	6,90-7,50	99,10	90,30	68,78	19,74	20,51	18,83	1,68	15,00	3,27
S05-TNEG1	10,0-10,60	99,40	90,39	73,75	48,29	39,59	31,60	7,99	5,90	0,50
S05-TNEG1	20,0-20,70	98,75	89,39	59,92	39,14	46,40	35,86	10,54	35,83	0,43

AMOSTRA	Prof. (m)	USCS	AASHTO	% seixo	% areia	% finos	Nome do grupo USCS
S31-Tu-VNG	3,00-4,00	SM	A-2-4	14,73	53,23	32,04	areia siltosa
S02-TMA	6,90-7,50	SM	A-2-4	0,90	79,36	19,74	areia siltosa
S05-TNEG1	10,0-10,60	SM	A-4	0,60	51,11	48,29	areia siltosa
S05-TNEG1	20,0-20,70	SM	A-7-5	1,25	59,61	39,14	areia siltosa