

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (LNEC - E 196 - 1966)

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Identificação: Areia siltosa

Amostra: S01-TNEG2

Profundidade: [6,00-6,60 m]

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peso total da amostra	m_t (g) =	350,04
Peso retido no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	m_{10} (g) =	91,95
Peso passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	m'_{10} (g) =	258,09

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	100,0
50,8 (2")	0,00	0	0	100,0
38,1 (1 1/2")	0,00	0	0	100,0
25,4 (1")	0,00	0	0	100,0
19,0 (3/4")	0,00	0	0	100,0
9,51 (3/8")	1,15	0	0	99,7
4,76 (nº4)	6,83	1,95	2,28	97,7
2,00 (nº10)	83,97	23,99	26,27	73,7

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)					
Massa da amostra a ensaiar, m_a (g) =				100,51	
Teor de humidade da amostra a ensaiar, W_a (%) =				0,64	
Massa de solo após pré-tratamento, m_b (g) =				99,87	
Percentagem de material retido no nº 10 ; N'_{10} =				26,27	
$N''_{10} = (m'_{10}/m_t) \times 100 =$				73,73	
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)	25,30	25,33	25,33	74,67	55,05
0.425 (nº40)	13,61	13,63	38,96	61,04	45,01
0.250 (nº60)	7,80	7,81	46,77	53,23	39,25
0.106 (nº140)	10,82	10,83	57,61	42,39	31,26
0.074 (nº200)	3,91	3,92	61,52	38,48	28,37

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS:

D10 =	0,019	mm	Coefficiente de Uniformidade:
D30 =	0,090	mm	Cu = 56,32
D60 =	1,070	mm	Coefficiente de Curvatura:
			Cc = 0,40

SEDIMENTAÇÃO

Densímetro - Gilson ASTM 151H

n.º = 294731

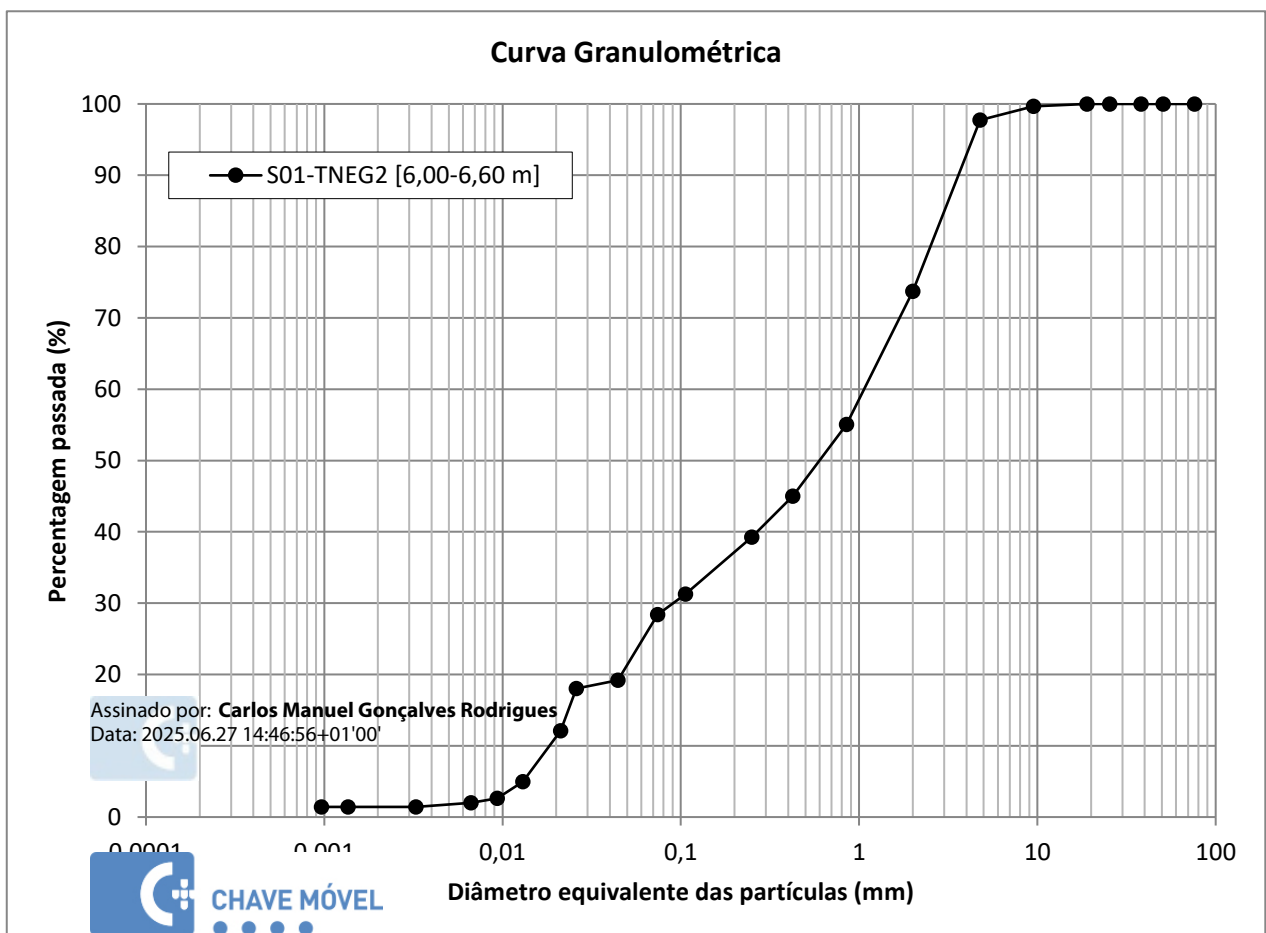
Data	Tempo (min)	Temp. (° C)	Temp. (° C)	C _T	C _A	Leituras (L _s)	L _c	Z _s (cm)	n _D (%)	N _D (%)	K	D (mm)
21/02/2024	1	22	22	0,0004	0,0054	1,021	1,0162	11,06	26,052	19,209	0,0133	0,0443
21/02/2024	3	22	22	0,0004	0,0054	1,020	1,0152	11,326	24,444	18,023	0,0133	0,0259
21/02/2024	5	22	22	0,0004	0,0054	1,015	1,010	12,658	16,403	12,094	0,0133	0,0212
21/02/2024	15	22	22	0,0004	0,0054	1,009	1,0042	14,257	6,7543	4,98	0,0133	0,013
21/02/2024	30	22	22	0,0004	0,0054	1,007	1,0022	14,789	3,538	2,6086	0,0133	0,0094
21/02/2024	60	22	22	0,0004	0,0054	1,007	1,0017	14,923	2,7339	2,0157	0,0133	0,0066
21/02/2024	250	22	22	0,0004	0,0054	1,006	1,0012	15,056	1,930	1,4229	0,0133	0,0033
22/02/2024	1440	22	22	0,0004	0,0054	1,006	1,0012	15,056	1,930	1,4229	0,0133	0,0014
23/02/2024	2880	22	22	0,0004	0,0054	1,006	1,0012	15,056	1,930	1,4229	0,0133	0,001

L_A = 1,005

C_M = 0,0002

G_s = 2,650

m_b = 99,87



Guarda, 14 de junho 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

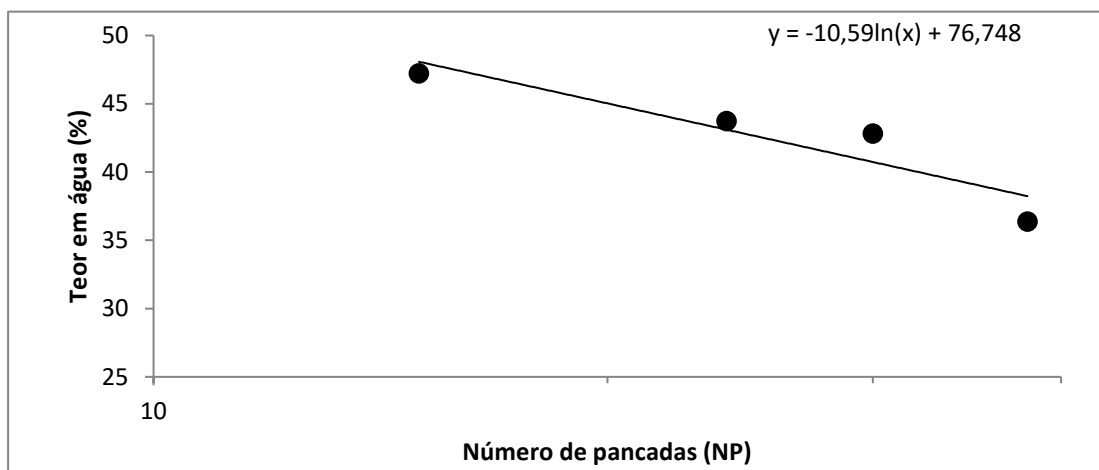
Amostra: S01-TNEG2

Profundidade: [6,00-6,60 m]

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	15	24	30	38
Cápsula n.º	12	15	13	14
Massa da cápsula (g)	24,85	25,08	25,49	25,45
Massa da cápsula+solo húmido (g)	31,24	30,01	30,96	31,00
Massa da cápsula+solo seco (g)	29,19	28,51	29,32	29,52
Teor de humidade (%)	47,24	43,73	42,82	36,36



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	16	17	18	19
Massa da cápsula (g)	25,14	25,30	25,59	24,93
Massa da cápsula+solo húmido (g)	29,30	28,55	30,04	29,28
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,18	27,69	28,84	28,10
Teor de humidade (%)	36,84	35,98	36,92	37,22

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	42,66
Limite de Plasticidade (LP)	36,74
Índice de Plasticidade (IP)	5,92

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.06.27 14:47:54+01'00'

Guarda, 13 de junho de 2025



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

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA NATURAL

NP - 84 (1965)

-RELATÓRIO-

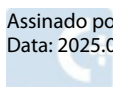
Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A. **Identificação:** Areia siltosa
Amostra: S01-TNEG2
Profundidade (m): [6,00-6,60 m]

TEOR EM ÁGUA
Amostra: S01-TNEG2 (6,00-6,60 m)

Cápsula n.º =	10	3	11
Peso da cápsula (g) =	285,78	283,39	285,77
Peso da cápsula + solo húmido (g) =	964,89	885,26	861,95
Peso da cápsula + solo seco (g) =	807,40	727,70	713,30
Peso de água (g) =	157,49	157,56	148,65
Peso de solo (g) =	521,62	444,31	427,53
Teor em água (%) =	30,19	35,46	34,77

Teor em água natural (%) =	33,47
----------------------------	-------

Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.06.27 14:45:53+01'00'



Guarda, 13 de junho 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: S01-TNEG2

Amostra: S1

Profundidade: 6,00-6,60

Descrição: Solo siltoso de cor negra

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 =	116,33	(mm)

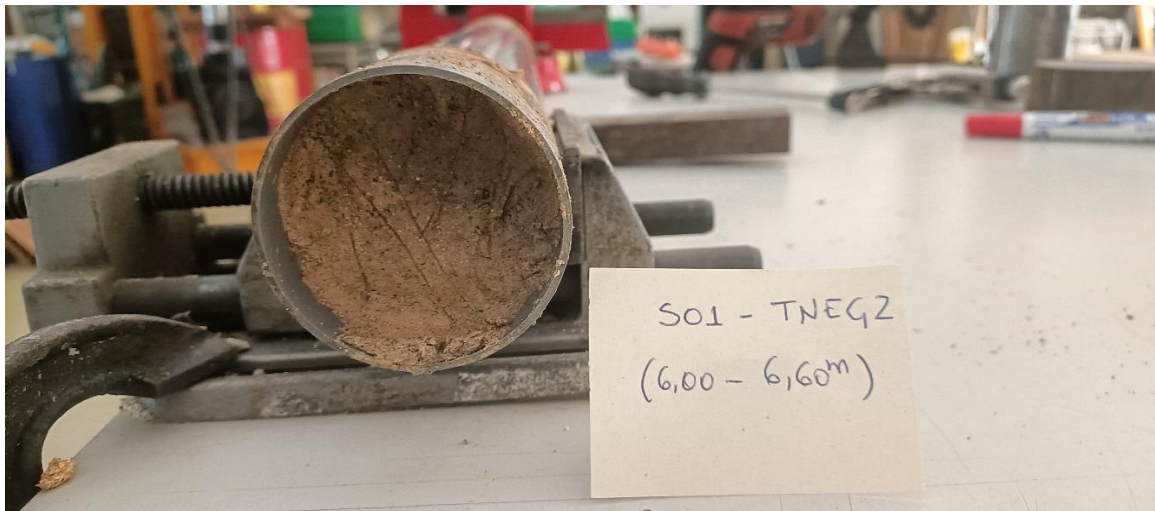
Equipamento de ensaio : Célula triaxial, com controlo automático das tensões e leitura automatizada de todos os dispositivos de leitura.

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: S01-TNEG2 (6,00-6,60 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	75	120,0	60,0	19,64	15,08	0,73	109,98
B	150	115,0	60,0	18,16	13,40	0,95	99,65
C	300	114,0	60,0	17,54	13,01	1,01	91,99

Fase de saturação dos provetes**Procedimento :**

Fase 1 - Aplicação de uma percolação ascendente de água durante cerca de 2 hora 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 2 horas, para facilitar a saturação completa do provete.

Fase 2 - Aplicação de uma contrapressão (u_{back}) mínima de 250 kPa, de um modo sequencial (30 kPa/h) de modo a garantir uma tensão efectiva de 30 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	75	120,0	60,0	30,2	250,0	0,976	OK
B	150	115,0	60,0	35,5	250,0	0,976	OK
C	300	114,0	60,0	34,8	237,9	0,967	OK

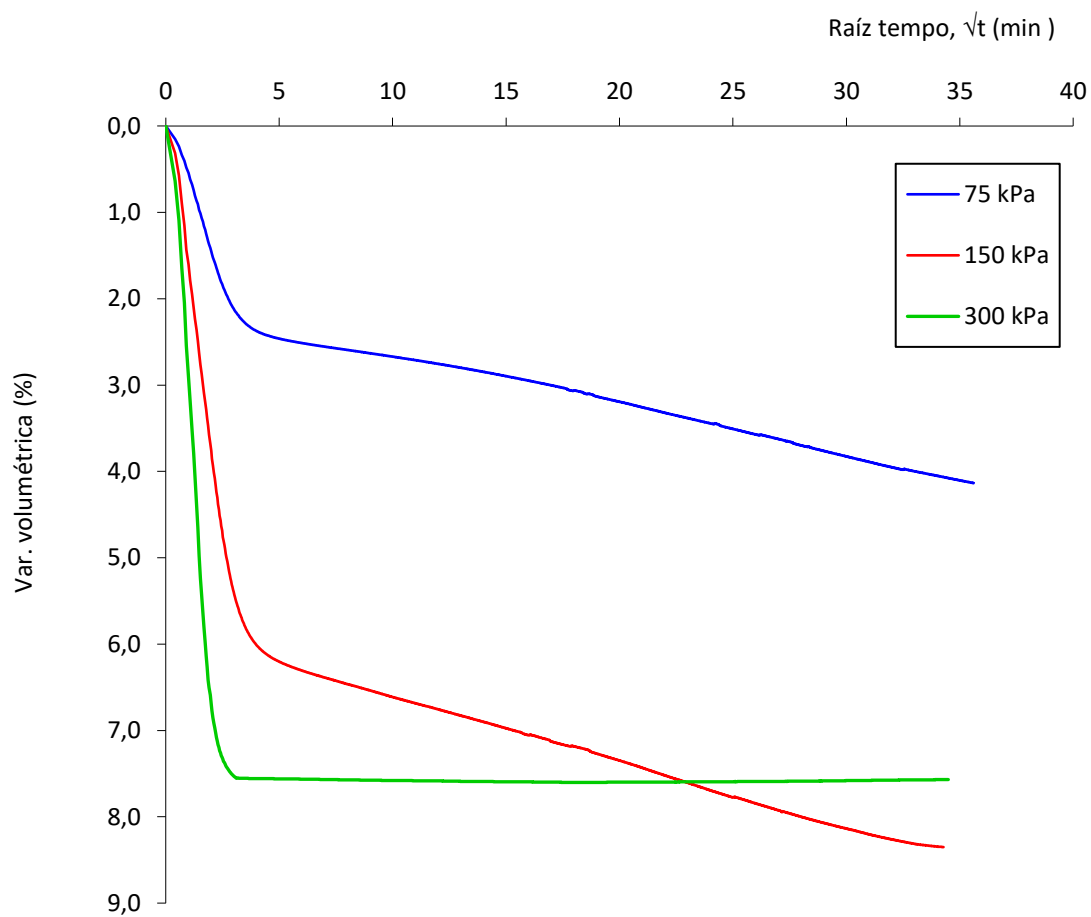
Fase de consolidação

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	325	250	75	4,14	10,890	5,44E-04	147,3
B	399	250	149	8,35	11,223	5,53E-04	131,3
C	549	249	300	7,57	5,153	2,52E-04	281,0



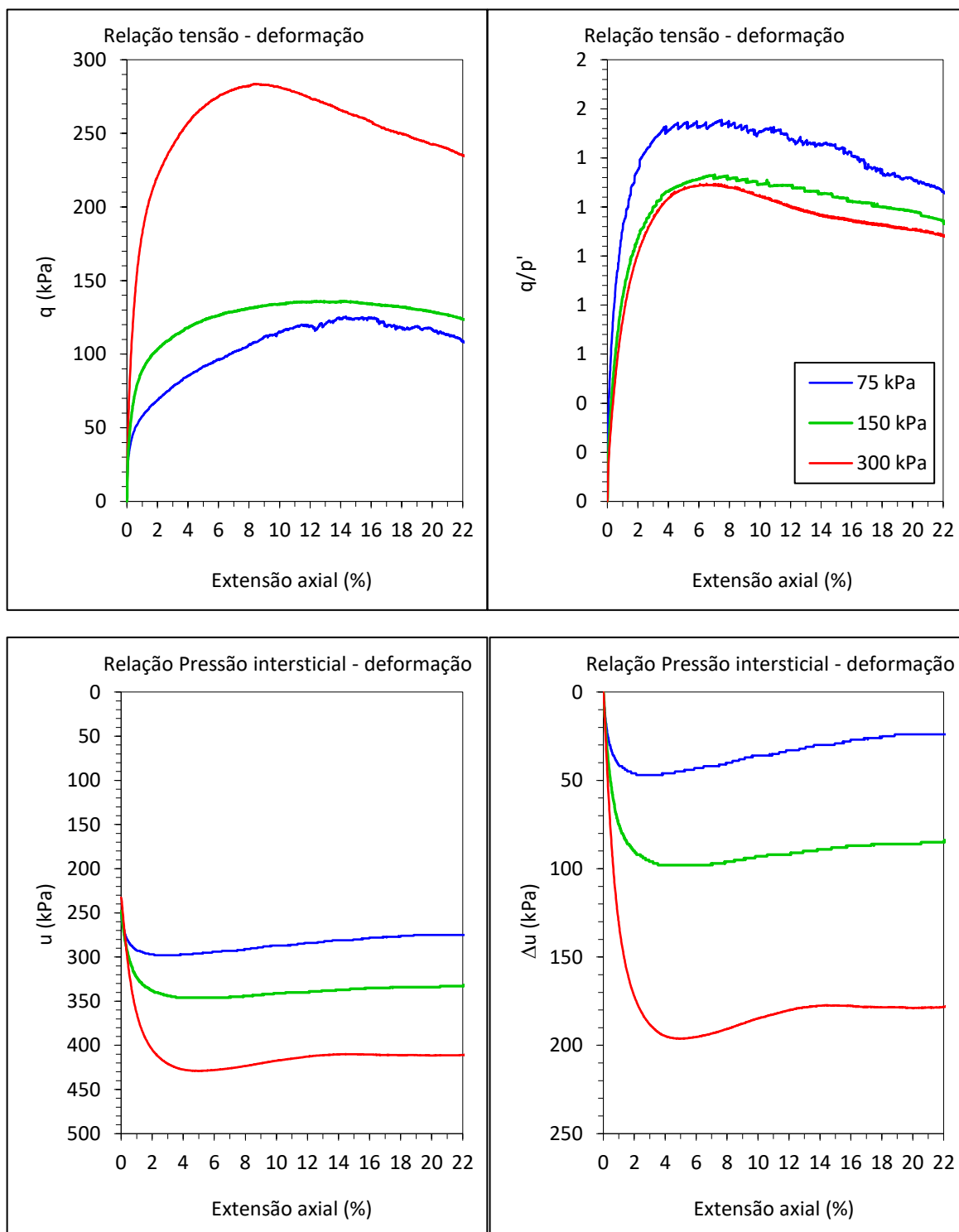
Fase de corte

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**



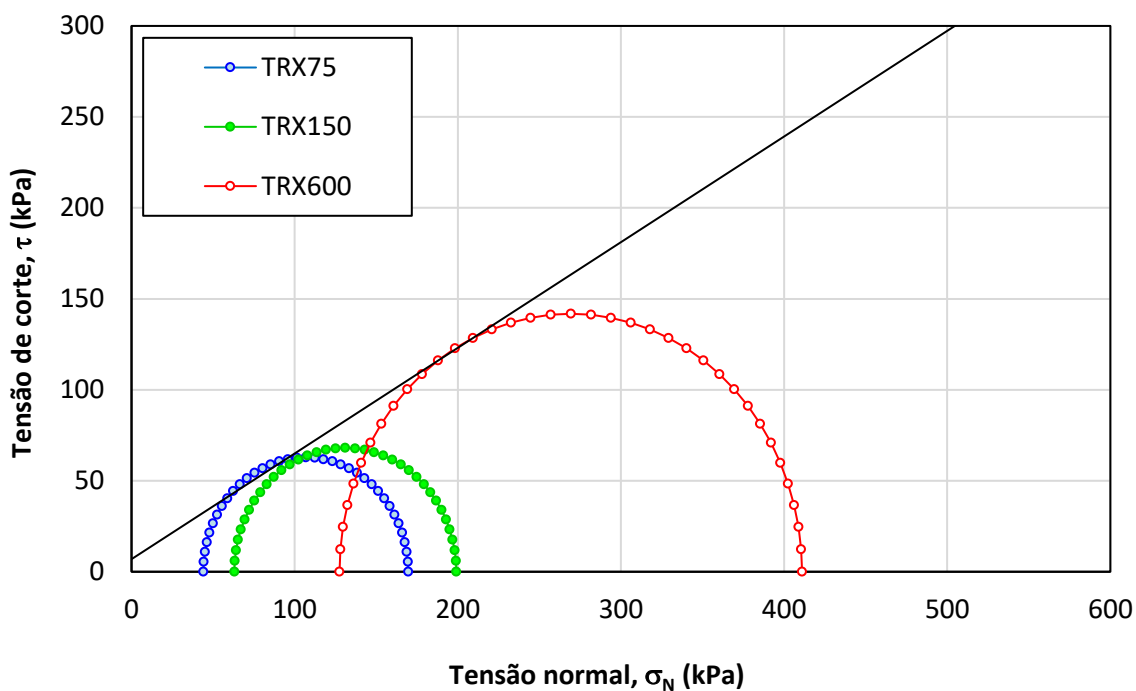
Observou-se a ocorrência de colapso dos provetes consolidados a 300 e 600 kPa após deformações da ordem dos 15%.

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	75	0,239	169,6	44,0	281,0	14,3
B	150	0,654	199,1	63,0	337,0	14,0
C	300	0,669	411,1	127,5	422,5	8,4

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

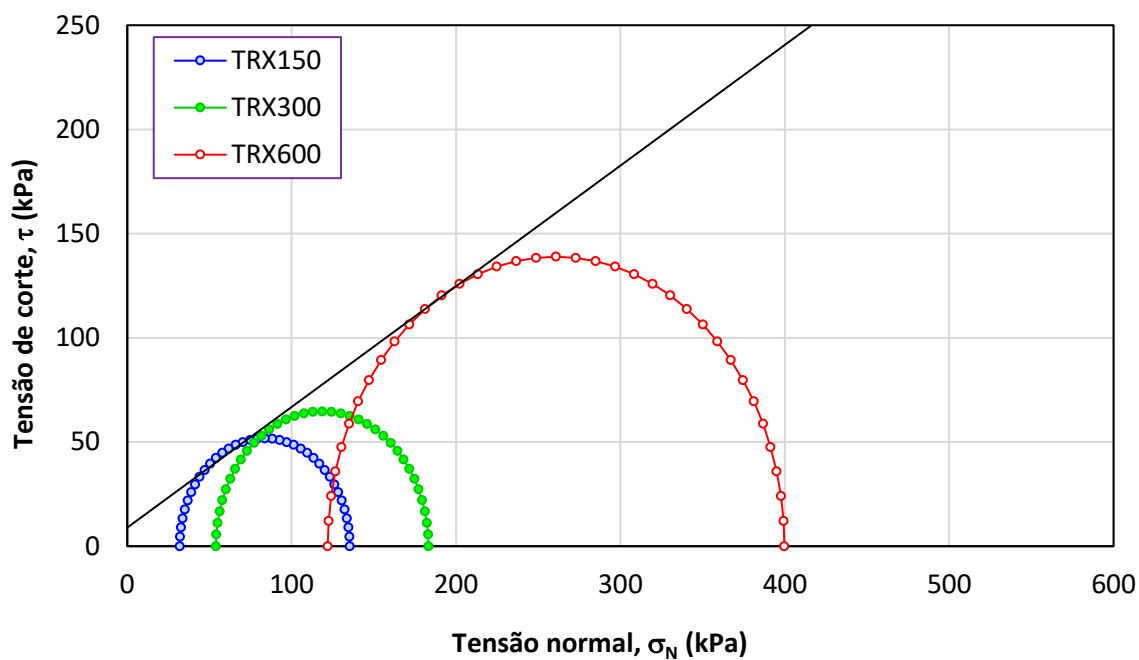
c' (kPa) =	6,9
ϕ' (°) =	30,1

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	75	0,406	135,4	32,0	293,0	7,5
B	150	0,758	183,3	54,0	346,0	7,0
C	300	0,700	399,7	121,9	427,1	6,5

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



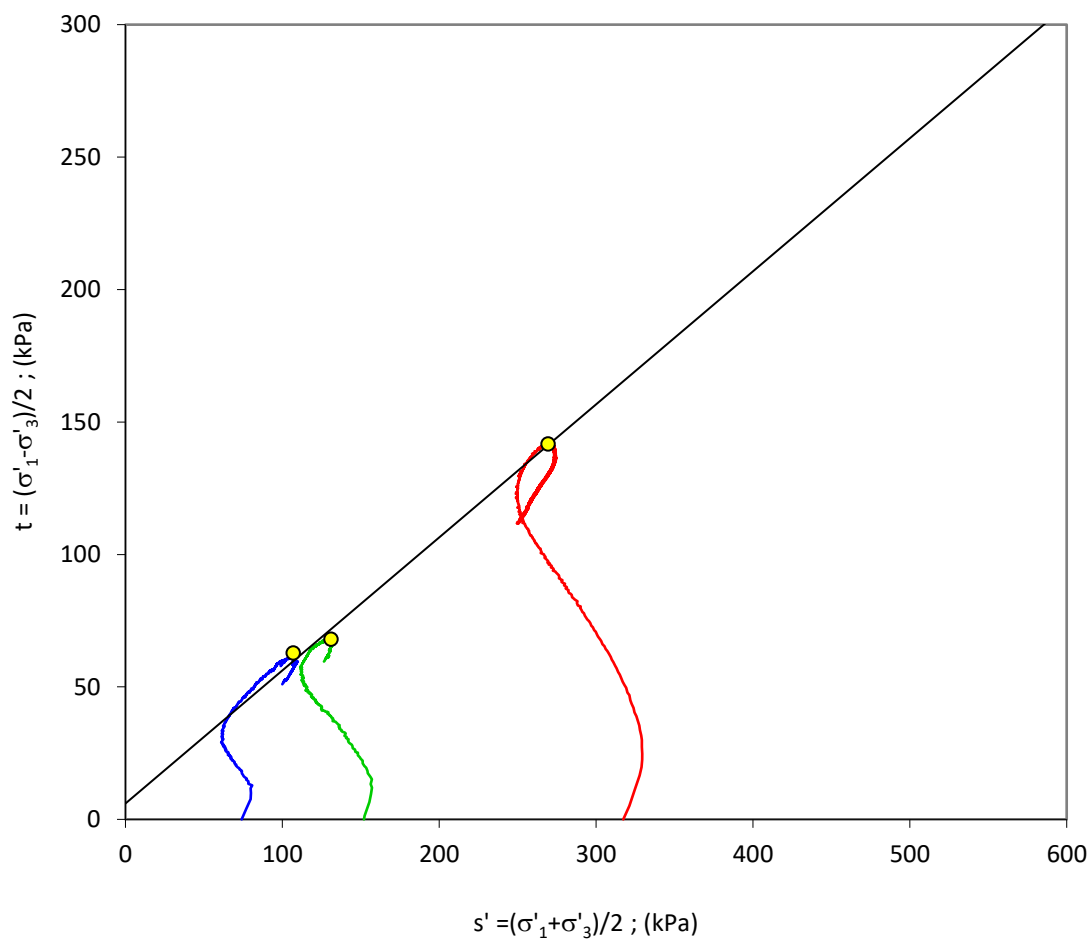
Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

c' (kPa) = 8,9
 ϕ' (°) = 30,1

Parâmetros de resistência ao corte:

TRAJETÓRIA DAS TENSÕES NO ESPAÇO $t - s'$



Critério de rotura = $q_{máx}$

$m = 0,502$

$a \text{ (kPa)} = 5,99$

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

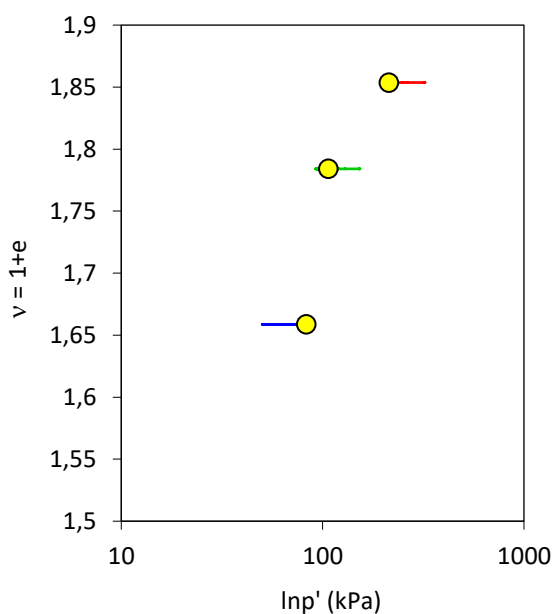
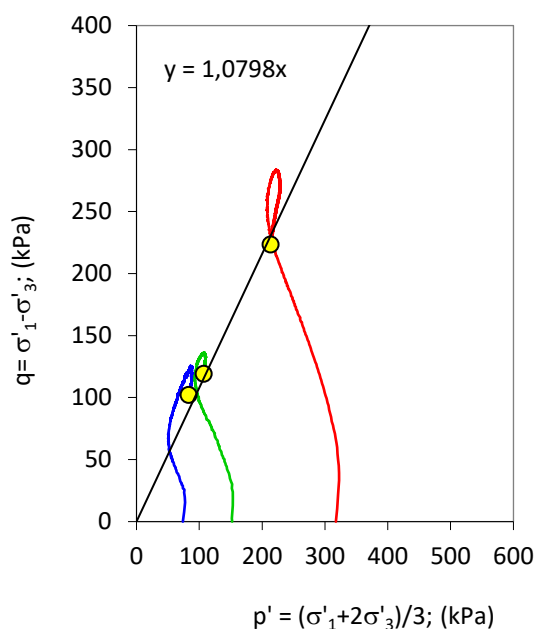
$m = 0,501$

$a \text{ (kPa)} = 7,72$

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	75	19,1	3,08	83,0	102,1	1,659
B	150	30,4	2,78	106,7	119,2	1,784
D	300	30,4	2,61	213,3	223,5	1,854



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

Estado Crítico

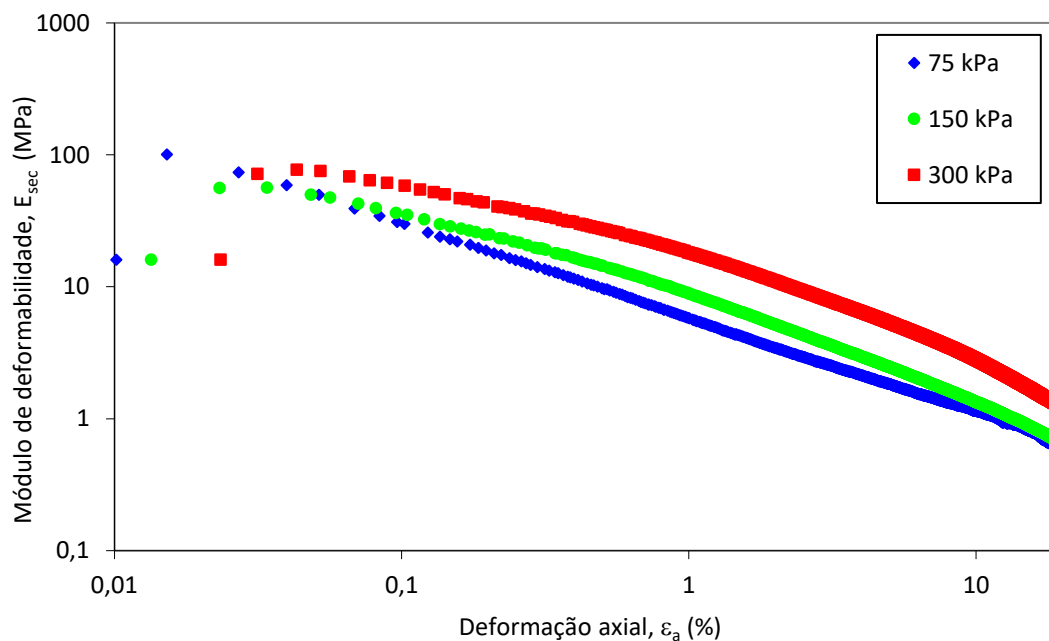
c' (kPa) =	0,0
ϕ' (°) =	27,2
M =	1,080

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	75	100,97	17,92	4,46	1,68
B	150	56,20	29,75	15,65	5,38
D	300	76,90	43,55	26,38	12,52



Assinado por: **Carlos Manuel Gonçalves Rodrigues**
Data: 2025.06.27 14:50:47+01'00'



Guarda, 12 de junho de 2025

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

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO

AMOSTRA	Prof. (m)	Passado	Passado	Passado	Passado	Limites de consistência			Cu	Cc
		#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP		
S01-TNEG2	6,00 - 6,60	97,70	73,70	45,01	28,37	42,66	36,74	5,92	56,32	0,40
S02-TNEG2	7,50 - 8,20	99,80	96,30	65,88	35,04	45,52	40,26	5,26	21,33	0,63
S03-TNEG2	6,00 - 7,00	100,00	97,00	70,49	43,64	53,50	45,17	8,33	24,73	0,14
S03-TMA	6,90 - 7,50	100,00	97,89	52,4	8,12	17,91	NP	NP	4,64	1,50
S25.P01	7,00 - 8,00	99,95	98,92	77,64	36,23	37,51	24,36	13,15	-	-
S35.P01	12,00 - 13,00	99,94	97,79	71,42	35,06	34,99	19,68	15,31	-	-

AMOSTRA	Prof. (m)	USCS	AASHTO	% seixo	% areia	% finos	Nome do grupo USCS
S01-TNEG2	6,00 - 6,60	SM	A-2-5	2,30	69,33	28,37	areia siltosa
S02-TNEG2	7,50 - 8,20	SM	A-5	0,20	64,76	35,04	areia siltosa
S03-TNEG2	6,00 - 7,00	SM	A-6	0,00	56,36	43,64	areia siltosa
S03-TMA	6,90 - 7,50	SP-SM	A-2-4	0,00	91,88	8,12	Areia mal graduada com silte
S25.P01	7,00 - 8,00	SC	A-6	0,05	63,72	36,23	areia argilosa
S35.P01	12,00 - 13,00	SC	A-6	0,06	64,88	35,06	areia argilosa