

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (LNEC - E 196 - 1966)

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Identificação: Areia siltosa

Amostra: S05-TNEG1

Profundidade: [10,0-10,6 m]

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peso total da amostra	m_t (g) =	350,74
Peso retido no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	m_{10} (g) =	33,71
Peso passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	m'_{10} (g) =	317,03

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)	2,10	0,60	0,60	99,40
2,00 (nº10)	31,61	9,01	9,61	90,39

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)					
Massa da amostra a ensaiar, m_a (g) =		100,38			
Teor de humidade da amostra a ensaiar, W_a (%) =		0,54			
Massa de solo após pré-tratamento, m_b (g) =		99,84			
Percentagem de material retido no nº 10 ; N'_{10} =		9,61			
$N''_{10} = (m'_{10}/m_t) \times 100 =$		90,39			
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)	13,91	13,93	13,93	86,07	77,80
0.425 (nº40)	4,47	4,48	18,41	81,59	73,75
0.250 (nº60)	3,05	3,05	21,46	78,54	70,99
0.106 (nº140)	15,07	15,09	36,56	63,44	57,34
0.074 (nº200)	10,00	10,02	46,57	53,43	48,29

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS:

D10 =	0,021	mm	Coefficiente de Uniformidade:
D30 =	0,036	mm	Cu = 5,90
D60 =	0,124	mm	Coefficiente de Curvatura:
			Cc = 0,50

SEDIMENTAÇÃO

Densímetro - Gilson ASTM 151H

n.º = 294731

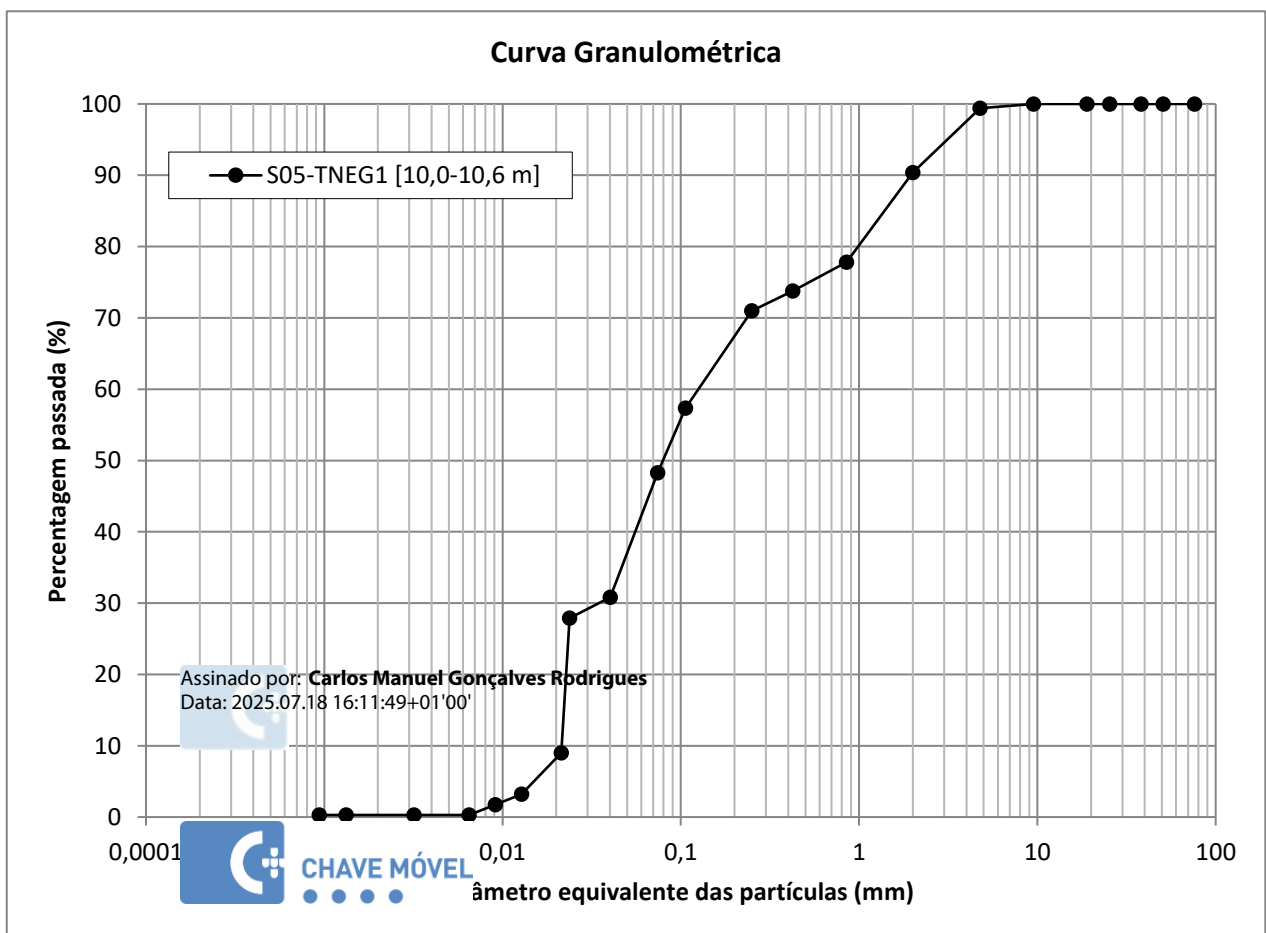
Data	Tempo (min)	Temp. (° C)	Temp. (° C)	C _T	C _A	Leituras (L _s)	L _c	Z _s (cm)	n _D (%)	N _D (%)	K	D (mm)
16/07/2025	1	25	25	0,001	0,006	1,026	1,0212	9,7279	34,103	30,825	0,0129	0,0401
16/07/2025	3	25	25	0,001	0,006	1,024	1,0192	10,261	30,885	27,917	0,0129	0,0238
16/07/2025	5	25	25	0,001	0,006	1,011	1,006	13,724	9,973	9,0149	0,0129	0,0213
16/07/2025	15	25	25	0,001	0,006	1,007	1,0022	14,789	3,539	3,1988	0,0129	0,0128
16/07/2025	30	25	25	0,001	0,006	1,006	1,0012	15,056	1,9303	1,7448	0,0129	0,0091
16/07/2025	60	25	25	0,001	0,006	1,005	1,0002	15,322	0,3217	0,2908	0,0129	0,0065
16/07/2025	250	25	25	0,001	0,006	1,005	1,0002	15,322	0,322	0,2908	0,0129	0,0032
17/07/2025	1440	25	25	0,001	0,006	1,005	1,0002	15,322	0,322	0,2908	0,0129	0,0013
18/07/2025	2880	25	25	0,001	0,006	1,005	1,0002	15,322	0,322	0,2908	0,0129	0,0009

L_A = 1,005

C_M = 0,0002

G_s = 2,650

m_b = 99,84



Guarda, 16 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

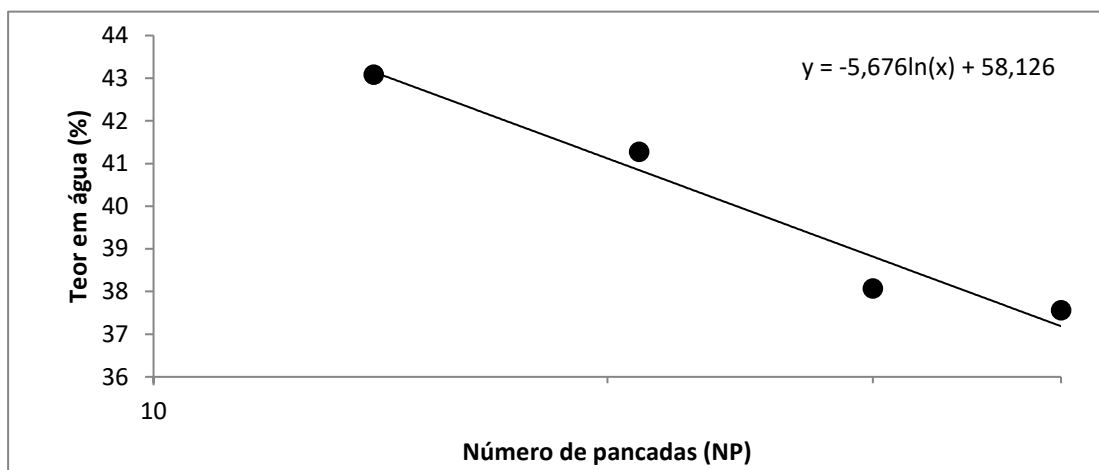
Amostra: S05-TNEG1

Profundidade: [10,00-10,60 m]

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	14	21	30	40
Cápsula n.º	8	9	10	11
Massa da cápsula (g)	24,96	25,52	24,99	25,55
Massa da cápsula+solo húmido (g)	30,34	31,27	30,14	30,97
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,72	29,59	28,72	29,49
Teor de humidade (%)	43,09	41,28	38,07	37,56



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	12	13	14	15
Massa da cápsula (g)	24,85	25,49	25,45	25,08
Massa da cápsula+solo húmido (g)	29,37	29,61	29,15	29,95
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,29	28,61	28,26	28,79
Teor de humidade (%)	31,40	32,05	31,67	31,27

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	39,59
Limite de Plasticidade (LP)	31,60
Índice de Plasticidade (IP)	7,99

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



Guarda, 16 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

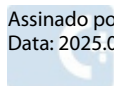
Profundidade (m): [10,00-10,60 m]

TEOR EM ÁGUA
Amostra: S05-TNEG5 (10,00-10,60 m)

Cápsula n.º =	18	10	8
Peso da cápsula (g) =	270,19	285,78	284,11
Peso da cápsula + solo húmido (g) =	896,54	921,61	889,63
Peso da cápsula + solo seco (g) =	760,57	788,56	748,68
Peso de água (g) =	135,97	133,05	140,95
Peso de solo (g) =	490,38	502,78	464,57
Teor em água (%) =	27,73	26,46	30,34

Teor em água natural (%) =	28,18
----------------------------	-------

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



Guarda, 13 de julho de 2025



CHAVE MÓVEL

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: 10,00-10,60 m

Descrição: Solo residual granítico (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 =	115,00	(mm)

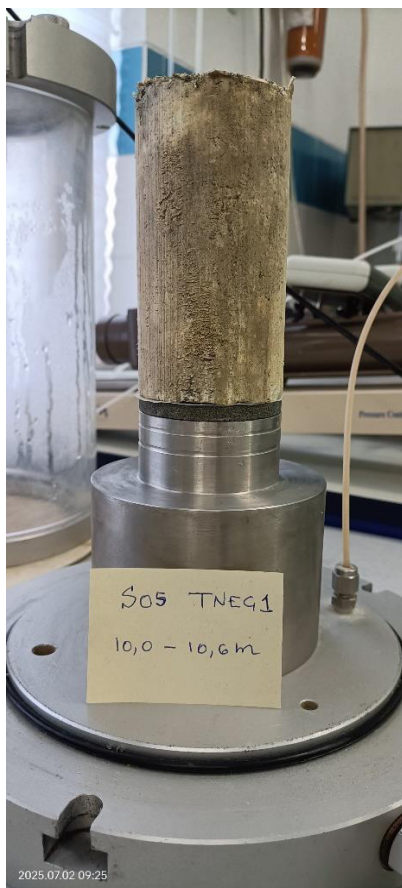
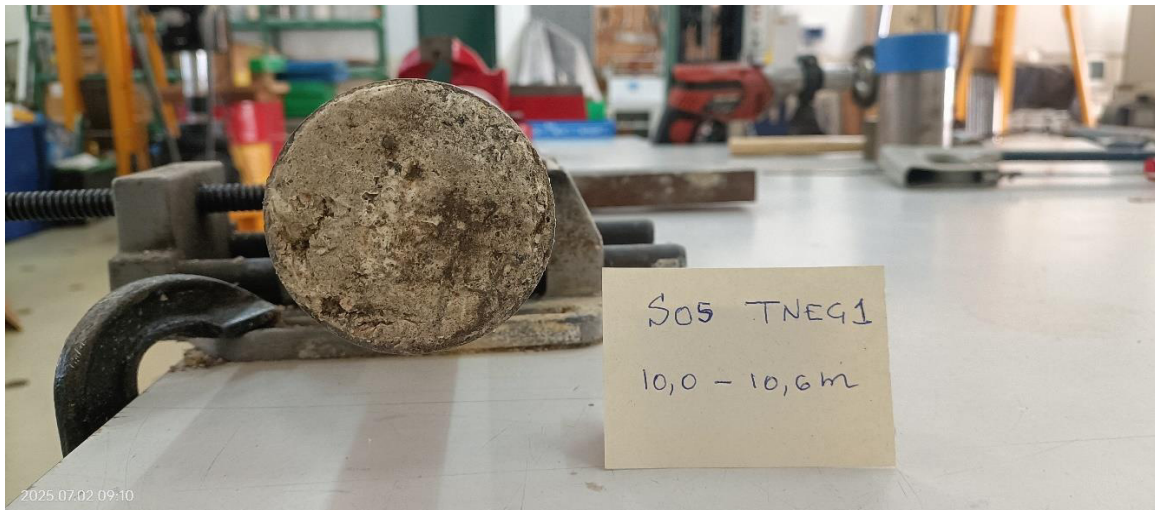
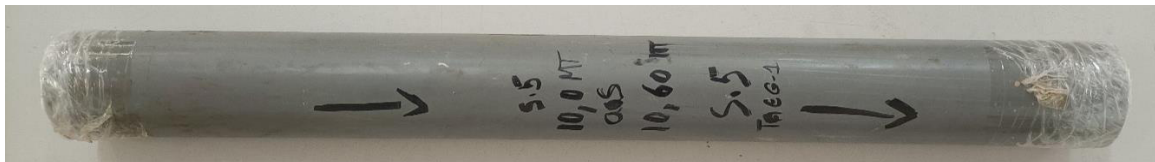
Equipamento de ensaio : Célula triaxial, com controlo automático das tensões e leitura automatizada de todos os dispositivos de leitura.

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 (10,00-10,60 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	150	116,5	60,0	18,65	14,60	0,787	93,74
B	300	116,0	60,0	19,02	15,04	0,735	95,74
C	600	112,5	60,0	18,67	14,33	0,821	98,27

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:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{cam}} &= 30 \text{ kPa} \\ u_{(\text{base})} &= 10 \text{ kPa} \\ u_{(\text{topo})} &= 0 \text{ kPa} \quad (\text{saída para a atmosfera})\end{aligned}$$

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.

Provette	σ'_{cons} (kPa)	Condições iniciais			Saturação		
		H_i (mm)	ϕ_i (mm)	w_i (%)	u_{back} (kPa)	B	Condição
A	150	116,5	60,0	27,7	200,0	0,960	OK
B	300	116,0	60,0	26,5	199,0	0,989	OK
C	600	112,5	60,0	30,3	202,5	0,960	OK

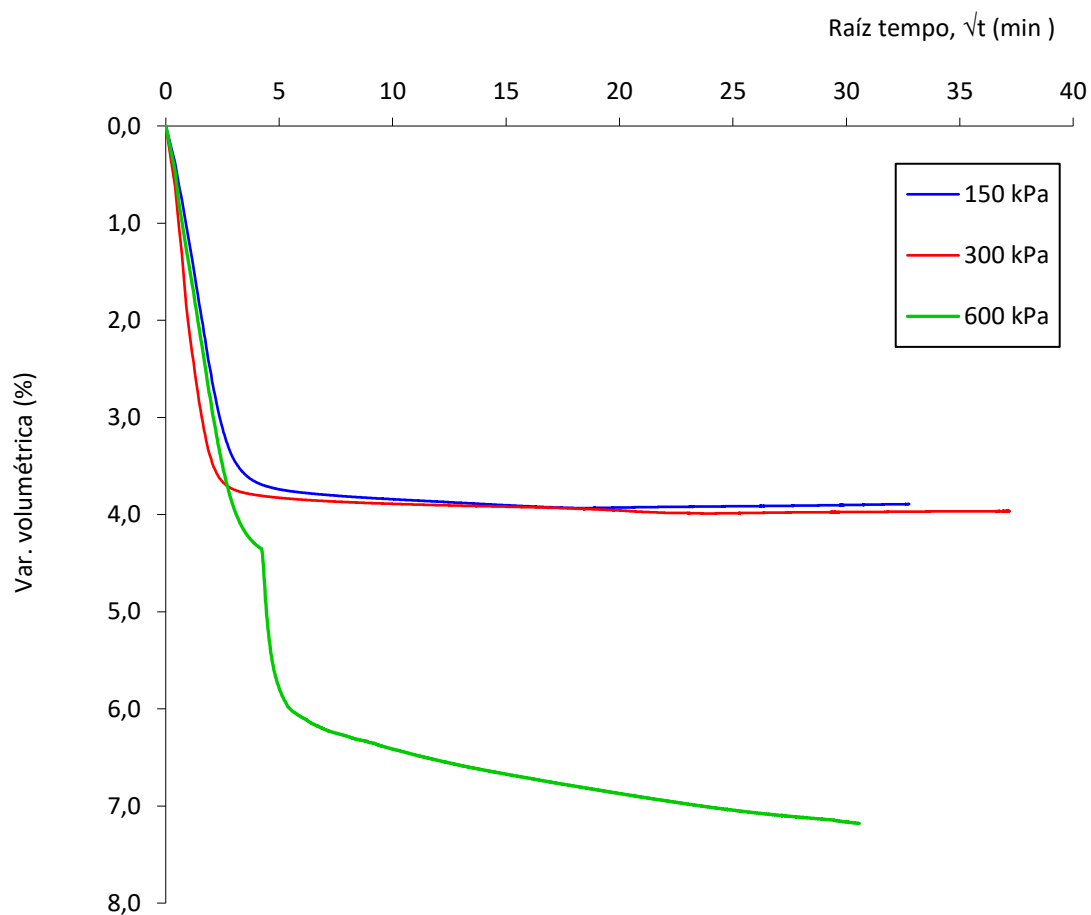
Fase de consolidação

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.

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	349	200	149	3,89	9,303	2,59E-04	162,6
B	499	200	299	3,96	4,623	1,32E-04	324,4
C	799	200	599	7,18	10,563	1,20E-04	133,5



O provete consolidado a 600 kPa de tensão efetiva, foi sujeito a 2 ciclos de consolidação de 300 kPa, de modo a melhorar a equalização das tensões durante a consolidação e diminuir o risco de rompimento da membrana de revestimento.

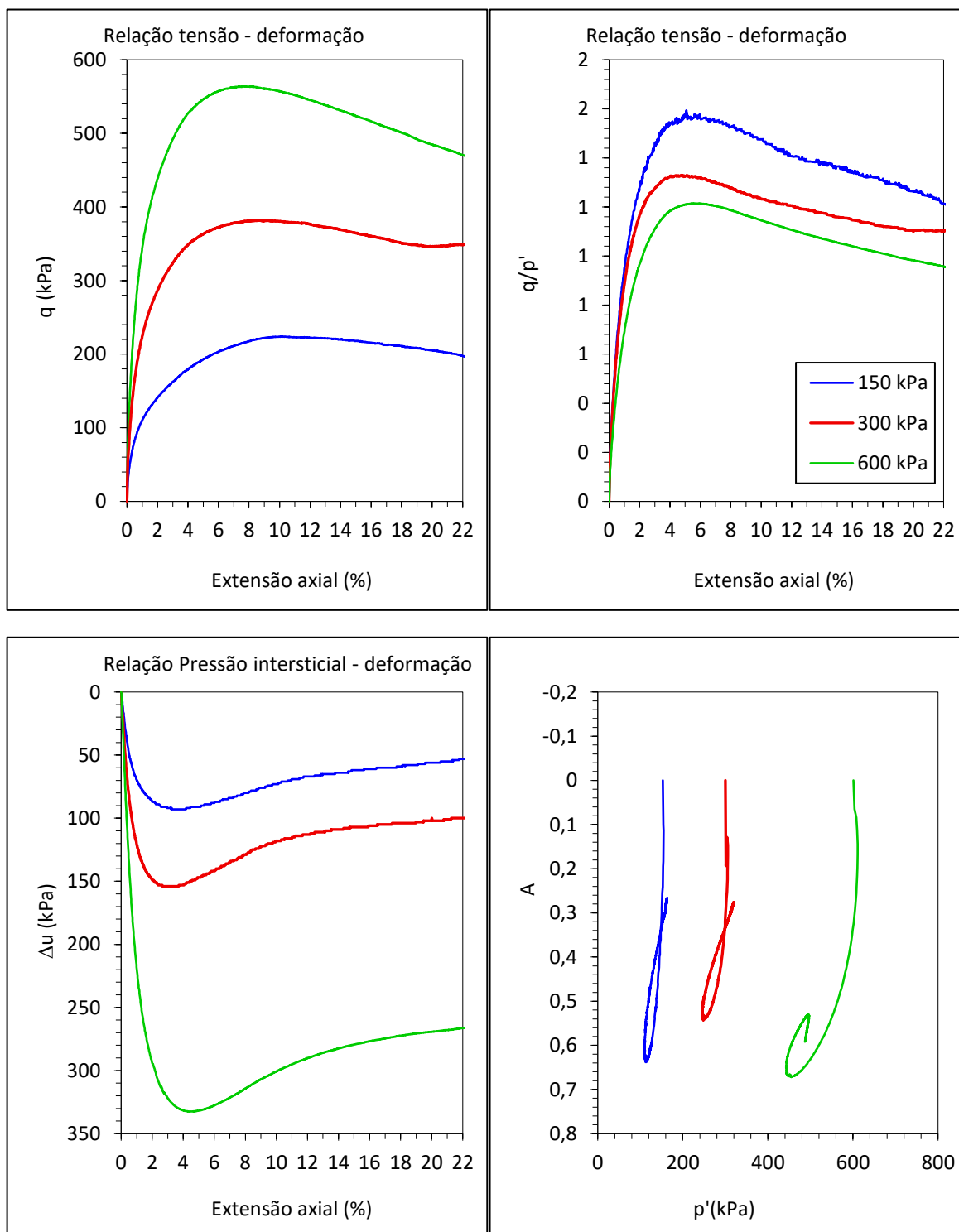
Fase de corte

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**

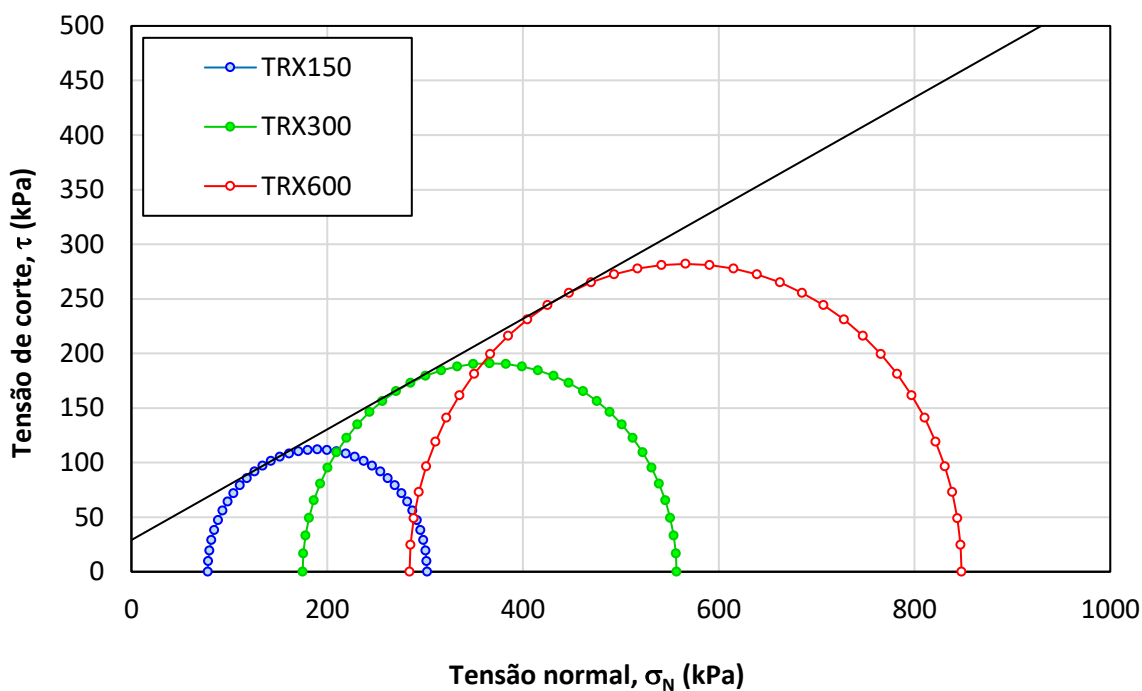


Parâmetros de resistência ao corte:

Critério de rotura = $q_{máx}$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	150	0,321	302,1	78,0	271,0	10,1
B	300	0,327	556,9	175,0	324,0	8,6
C	600	0,562	848,1	284,1	515,9	7,6

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

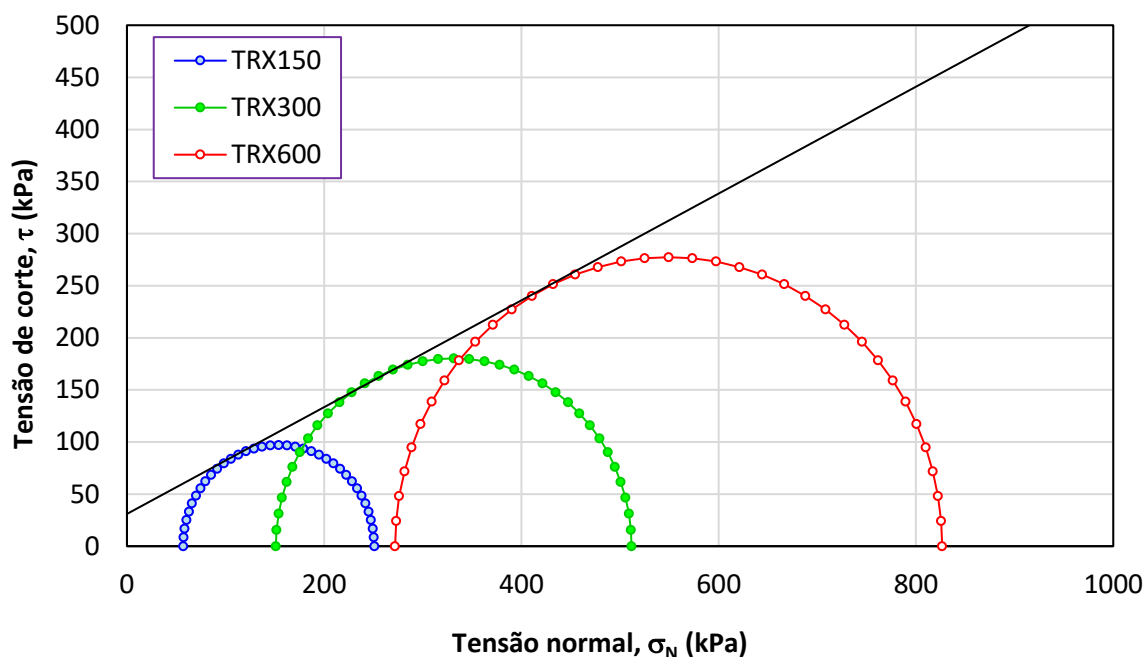
c' (kPa) =	29,1
ϕ' (°) =	26,9

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	150	0,470	250,8	57,0	290,0	5,1
B	300	0,413	511,6	151,0	348,0	4,8
C	600	0,594	826,6	271,9	528,2	5,7

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



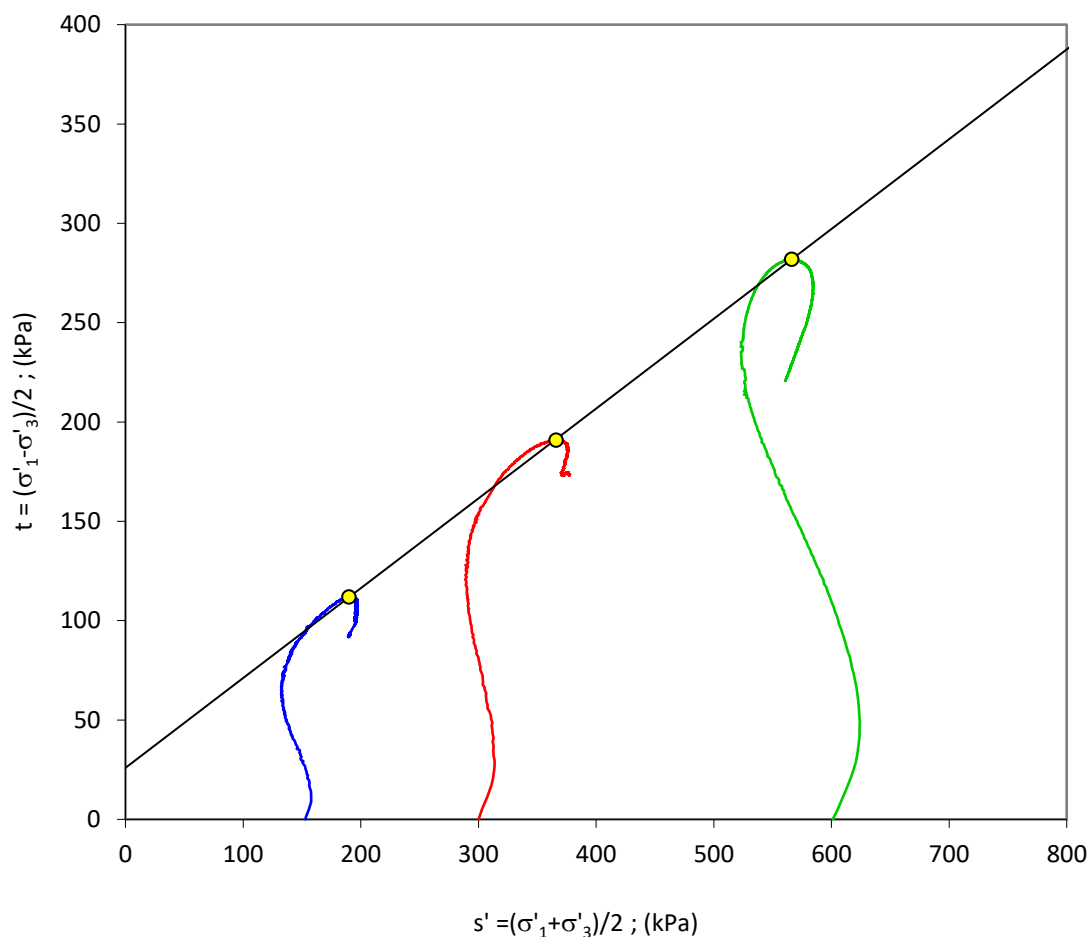
Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

c' (kPa) = 31,0
 ϕ' (°) = 27,1

Parâmetros de resistência ao corte:

TRAJETÓRIA DAS TENSÕES NO ESPAÇO $t - s'$



Critério de rotura = $q_{máx}$

$m = 0,452$

a (kPa) = 25,93

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

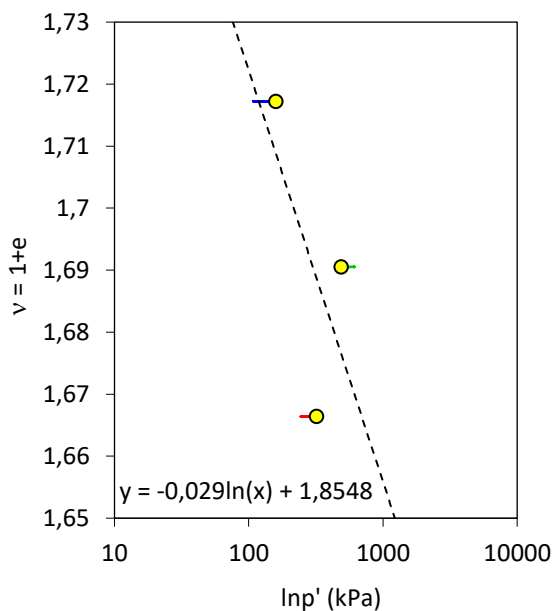
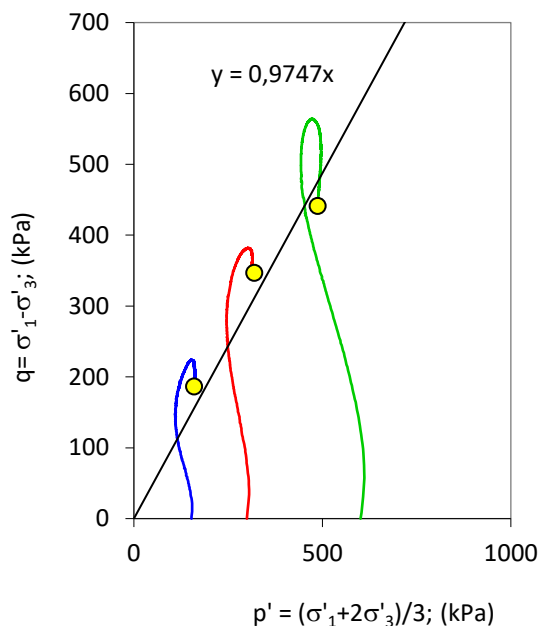
$m = 0,456$

a (kPa) = 27,58

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	150	25,8	2,92	159,2	186,6	1,717
B	300	26,9	2,70	319,6	346,9	1,666
D	600	27,6	2,30	487,1	441,4	1,691



Termo dependente M =	0,975
sin a (°) =	0,42
Termo indep. - a (kPa) =	0,00

Estado Crítico

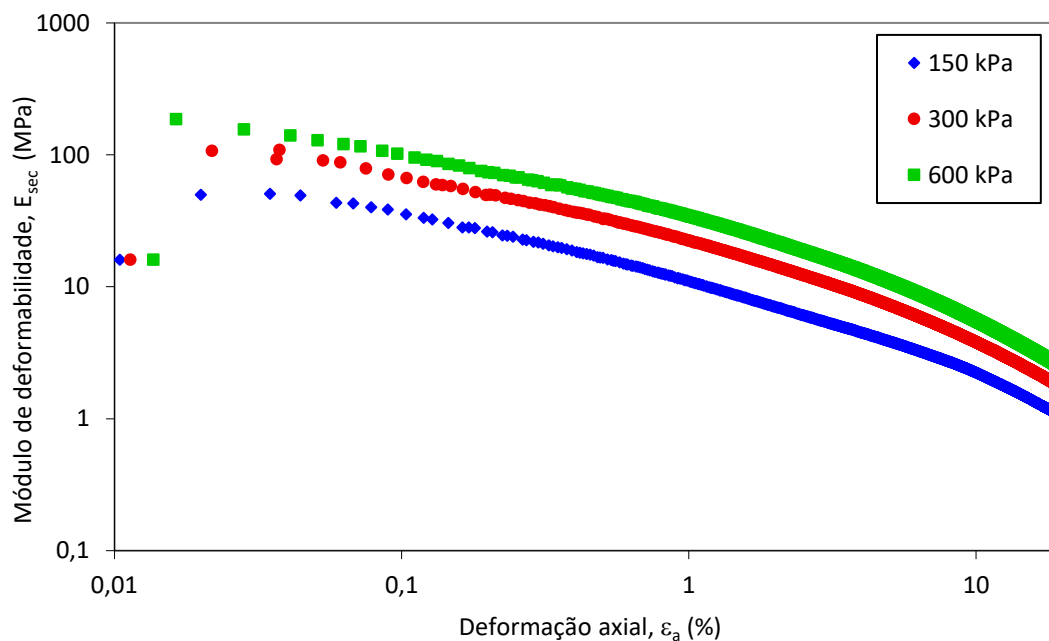
c' (kPa) =	0,0
ϕ' (°) =	24,8
M =	0,975

Γ =	1,855
λ =	0,029

Características de deformabilidade

Módulo de deformabilidade secante

Provete	σ'_{cons} (kPa)	E_0 (MPa)	$E_{30\%}$ (MPa)	$E_{50\%}$ (MPa)	$E_{75\%}$ (MPa)
A	150	50,63	20,66	10,66	5,08
B	300	109,02	46,43	27,98	14,30
D	600	186,21	67,43	44,53	23,67



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



Guarda, 14 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