

6.

Análise de Resultados e Discussão dos Ensaios Mecânicos

Conforme citado no Capítulo 4 o programa experimental desenvolvido nesta dissertação foi composto por ensaios de adensamento com velocidade de deslocamento controlado (CRD) e ensaios compressão triaxial (CIU) para os locais de Campo Experimental (CE) e Quititi (QUI). Este Capítulo apresenta o resultado dos ensaios realizados, análise e discussão avaliando o potencial de liquefação dos solos coluvionares.

6.1.

Ensaio de Adensamento com Velocidade de Deslocamento Controlado CRD

O objetivo principal da realização do ensaio CRD foi determinar a tensão de escoamento das amostras indeformadas dos solos coluvionares analisadas. Além disso a determinou-se os parâmetros de compressibilidade C_c C_s , que permitiram comparar a compressibilidade dos locais estudados, finalmente e de forma complementar foram determinados os coeficientes de adensamento (C_v) e o coeficiente de permeabilidade (k).

6.1.1.

Apresentação e análise dos resultados

Nesta dissertação foram realizados cinco ensaios de adensamento com velocidade de 0.036 mm/min, sendo dois em amostras do solo do Campo Experimental e três em amostras do solo de Quititi. A duração desses ensaios variou de 2 a 3 horas. Os corpos de prova utilizados tinham 2,0 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura. As características iniciais dos corpos de prova são listadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Características iniciais dos corpos de prova do ensaio CRD

Local	Ensaio	W _o (%) antes da saturação	W _o (%) após da saturação	W _f (%)	e	S%	γ (kN/m ³)	γ _d (kN/m ³)
Campo Experimental	CE E-1	26,42	37,50	33,85	1,15	89,53	17,23	12,53
	CE E-2	25,32	34,53	32,38	1,16	81,61	16,77	12,46
Quitite	QUI E-3	20,16	25,09	21,13	0,70	95,74	19,24	15,38
	QUI E-4	19,78	26,74	23,77	0,72	99,60	19,30	15,23
	QUI E-5	17,40	34,00	29,19	0,77	96,74	18,89	14,77

Para os ensaios do solo do Campo Experimental foram empregados técnicas de saturação com sucção e capilaridade, o mesmo aconteceu no solo de Quitite. No entanto o ensaio QUI E-3 foi saturado somente por capilaridade com o objetivo de comparar o grau de saturação. Note-se na Tabela 6.1 que o ensaio QUI E3 apresentou um menor grau de saturação que os outros, feitos empregando as técnicas conjuntas de sucção e capilaridade. Os índices de vazios iniciais no solo do Campo Experimental são maiores que no solo do Quitite, o que denota um comportamento mais rígido neste último.

Na figura 6.1 apresentam-se as relações de $e \times \log \sigma'$ para os ensaios CE E-1 e CE E-2. Observa-se uma suave mudança no gradiente das curvas. Pode-se dizer que os comportamentos apresentados nestes ensaios são próximos, sendo possível definir uma única gradiente.

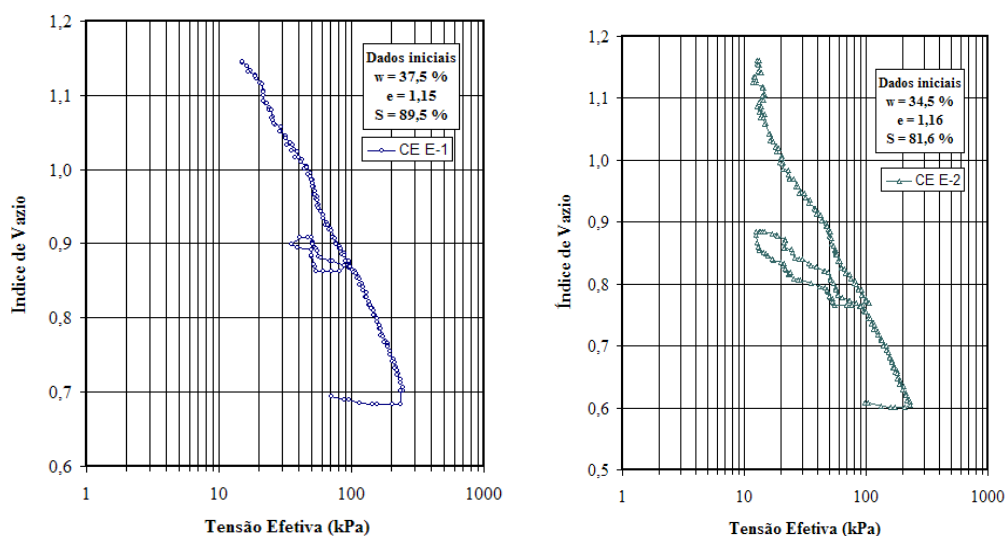


Figura 6.1: Variação do índice de vazios com a tensão efetiva das amostras CE E-1 e CE E-2.

Resultados dos ensaios no solo de Quitite são apresentados na figura 6.2, notando-se a diferença dos métodos de saturação, no ensaio QUI E-3 foi somente por capilaridade, levado a tensão efetiva de 2000 kPa, note-se a baixa compressibilidade do solo, os outros ensaios seguiu-se o método anterior de saturação, foram levados até 200 kPa de tensão efetiva, já que abrange os níveis de tensão nos taludes superficiais em solos coluvionares suspeitos de liquefação. As curvas observadas apresentam diferentes gradientes, não sendo possível determinar um gradiente único.

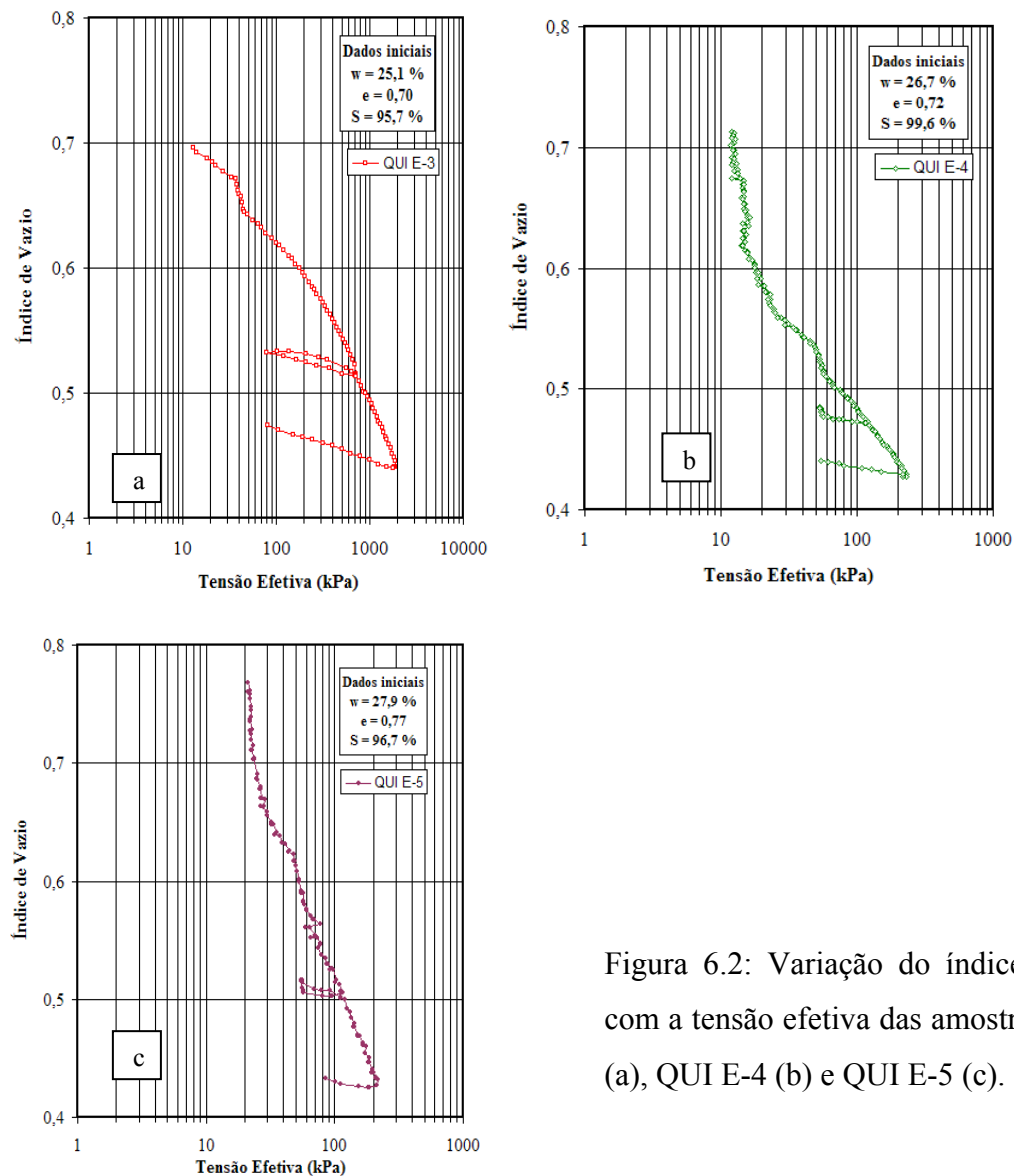


Figura 6.2: Variação do índice de vazios com a tensão efetiva das amostras QUI E-3 (a), QUI E-4 (b) e QUI E-5 (c).

Dos ensaios apresentados, obteve-se as gradientes das curvas, que são listadas na Tabela 6.2. Com estes dados serão comparados os adensamentos isotrópicos dos ensaios triaxiais.

Tabela 6.2: Linhas de Compressão virgem

Local	Ensaio	σ' (kPa)	e
Campo Experimental	CE E-1	45,60	1,01
		235,50	0,72
	CE E-2	20,00	1,00
		200,00	0,64
Quitite	QUI E-3	859,01	0,51
		1845,02	0,45
	QUI E-4	16,11	0,61
		222,33	0,43
	QUI E-5	27,73	0,67
		211,84	0,43

Na Tabela 6.3 são comparados os parâmetros de C_c (índice de compressão) e C_s (índice de expansão) a partir do gráfico traçado na escala semi-logarítmica, note-se que o C_c no solo do Campo Experimental é 35% maior que no solo de Quitite.

Tabela 6.3: Parâmetros do ensaio de adensamento

Local	Ensaio	C_c	C_s
Campo Experimental	CE E-1	0,411	0,020
	CE E-2	0,415	0,018
Quitite	QUI E-3	0,155	0,022
	QUI E-4	0,139	0,022
	QUI E-5	0,277	0,012

A tensão de escoamento não foi claramente obtida nestes ensaios devido à variabilidade dos gradientes, por tanto para a mesma, foi estimada uma faixa de tensões entre 50 e 100 kPa, com ajuda das trajetória de tensões p' - q dos ensaios triaxiais. Por exemplo, as trajetórias de tensões para nível de confinamento de 20 kPa estiveram orientadas para a direita, em quanto para o nível de confinamento de 200kPa para a esquerda. Dessa forma e utilizando a trajetória de tensões de 70 kPa foi estimado a faixa de 50 e 100 kPa para ambos solos. Os resultados apresentam-se na Tabela 6.4, note-se a homogeneidade dos dados de permeabilidade, os C_v apresentam maior dispersão.

Tabela 6.4: Coeficiente de condutividade hidráulica e coeficiente de adensamentos dos corpos de prova dos ensaios CRD

Local	Ensaio	σ' (kPa)	k (cm/s)	Cv (cm ² /s)
Campo Experimental	CE E-1	50	8,4 E-6	2,8E-03
		100	1,9 E-6	1,0E-01
	CE E-2	50	3,3 E-6	2,2E-02
		100	3,2 E-6	8,6E-02
Quitite	QUI E-3	50	1,7 E-6	3,1E-02
		100	1,6 E-6	8,1E-02
	QUI E-4	50	1,1 E-6	2,4E-02
		100	8,1 E-7	3,8E-02
	QUI E-5	50	1,9 E-6	4,2E-02
		100	1,8 E-6	5,4E-02

6.2.

Ensaio Triaxiais de Deformação Controlada

Foram realizados 24 ensaios triaxiais não drenados, todos em amostras indeformadas nos solos coluvionares do Campo Experimental e Quitite. Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos descritos no Capítulo 4.

Foram executados empregando-se três tensões confinantes efetivas: 20 kPa, 70 kPa e 200 kPa. Estas tensões foram escolhidas por englobarem a gama de tensões verticais geostáticas efetivas para que aconteça a possível liquefação. As velocidades de cisalhamento que foram submetidas estão resumido na Tabela 6.5, inicialmente foram empregadas seis velocidades na tensão confinante de 200 kPa, para assim escolher três velocidades que representem a influência nas variações de poro-pressões e resistência com a velocidade, isto foi feito tanto no local do Campo Experimental e Quitite.

As velocidades escolhidas foram: 0.0033, 0.0333 e 33.33 mm/min, para abranger a influência nas poro-pressões.

Tabela 6.5: Resumo dos Ensaaios Triaxiais

Local	Ensaio	σ'_c (kPa)	Velocidade mm/min
Campo Experimental	E-1	21	0,0033
	E-2	20	0,0333
	E-3	24	33,33
	E-4	71	0,0033
	E-5	70	0,0333
	E-6	68	33,33
	E-7	198	0,0033
	E-8	198	0,033
	E-9	194	0,333
	E-10	198	0,667
	E-11	197	3,333
	E-12	201	33,33
Quitite	E-13	21	0,0033
	E-14	18	0,0333
	E-15	17	33,33
	E-16	71	0,0033
	E-17	71	0,0333
	E-18	67	33,33
	E-19	199	0,0033
	E-20	199	0,0333
	E-21	195	0,333
	E-22	199	0,667
	E-23	197	3,333
	E-24	197	33,33

6.2.1

Apresentação dos resultados Triaxiais

Os resultados das características iniciais e finais dos ensaios obtidos nesta fase do estudo são apresentados na Tabela 6.6, além disso, nas figuras 6.4 a 6.14 são apresentadas as curvas de Tensão Desviadora vs Deformação Axial e Excesso de poro-pressão vs Deformação Axial, cabe ressaltar que as medições de poro-pressão foram feitas no médio e base do corpo de prova.

Tabela 6.6: Características dos corpos de prova nos Ensaios Triaxiais CIU

Ensaio	σ'_c (kPa)	Vel. mm/min	Antes do Adensamento					Após o Adensamento	
			Do cm	Wo (%)	γ_d (g/cm ³)	eo	S%	Wf (%)	γ_d (g/cm ³)
E-1	21	0,0033	3,75	25,64	1,48	0,86	81,69	40,99	1,32
E-2	20	0,0333	3,75	24,24	1,5	0,84	79,53	32,16	1,41
E-3	24	33,33	3,75	28,57	1,47	0,87	89,84	39,44	1,35
E-4	71	0,0033	3,75	24,9	1,5	0,83	82,31	31,81	1,43
E-5	70	0,0333	3,75	27,59	1,34	1,05	72,17	35,14	1,34
E-6	68	33,33	3,75	26,21	1,37	1,01	71,22	33,02	1,37
E-7	198	0,0033	3,75	22,43	1,46	0,88	70,15	30,6	1,43
E-8	198	0,033	3,75	22,68	1,36	1,02	61,31	32,89	1,35
E-9	194	0,333	3,75	23,37	1,39	0,98	65,8	29,62	1,41
E-10	198	0,667	3,75	22,96	1,5	0,83	76,17	30,01	1,46
E-11	197	3,333	3,75	23,16	1,55	0,78	81,92	31,51	1,49
E-12	201	33,33	3,75	25,95	1,49	0,85	84,39	29,83	1,49
E-13	21	0,0033	3,75	20,72	1,62	0,64	86,31	25,95	1,57
E-14	18	0,0333	3,75	21,01	1,6	0,66	84,31	25,89	1,55
E-15	17	33,33	3,75	21,59	1,6	0,66	86,6	26,94	1,55
E-16	71	0,0033	3,75	19,82	1,6	0,66	79,82	25,64	1,55
E-17	71	0,0333	3,75	20,99	1,54	0,73	77,01	26,81	1,5
E-18	67	33,33	3,75	19,91	1,62	0,64	82,79	26,05	1,58
E-19	199	0,0033	3,75	22,32	1,56	0,71	84,03	26,78	1,57
E-20	199	0,0333	3,75	23,11	1,52	0,75	82,15	23,54	1,59
E-21	195	0,333	3,75	22,63	1,52	0,76	79,71	26,09	1,53
E-22	199	0,667	3,75	21,38	1,57	0,69	82	24,6	1,6
E-23	197	3,333	3,75	18,72	1,6	0,66	75,56	24,26	1,59
E-24	197	33,33	3,75	21,44	1,57	0,69	82,5	25,81	1,58

Durante o adensamento se teve problemas nos dados registrados pelo medidor de volume. Com o intuito de conferir o valor do índice de vazios final, verificou-se por dois métodos, um foi evidenciando a formula $GW=eS$, como são conhecidos os dados de G e W, e considerando os corpos de prova saturados, obteve-se valores do índice de vazios final; outra metodologia adotada foi considerando a Equação 5:

$$\Delta V/V = (ea+2er)/3 \quad \text{Equação 5}$$

assumindo que as deformações radiais são iguais a zero, a variação de volume fica só por conta da deformação axial, que foram medidas durante o ensaio de adensamento, após a avaliação das metodologias descritas, adotou-se fazer as futuras comparações com a umidade final, por serem mais confiáveis.

Nesta apresentação, serão avaliados os resultados considerando a variação das velocidades com a Tensão confinante efetiva.

6.2.2

Influência da Velocidade nos Ensaio Triaxiais

Campo Experimental

Para um melhor entendimento do comportamento inicial nos ensaios Triaxiais, foram plotadas os gradientes dos ensaios CRD junto com a tensão efetiva de adensamento (p'_o) de cada ensaio. Na Tabela 6.7 são listados os valores de umidade final e p'_o , base para a Figura 6.3.

Na Figura 6.3, observou-se que os gradientes dos Ensaio CE E-1 e E-2, são paralelas, apresentado um deslocamento entre eles, este fato pode ser atribuída às condições iniciais dos ensaios, diferença da saturação, por exemplo, no ensaio CE E-1 note-se que os dados de adensamento batem melhor com a reta.

Considerou-se a mesma metodologia para o colúvio de Quitite, sendo analisado mais adiante.

Tabela 6.7: Teor de Umidade final x tensão efetiva de adensamento
Campo Experimental

Local	Ensaio	σ'_c (kPa)	Wf (%)	p'_o (kPa)
Campo Experimental	E-1	21	40,99	22,34
	E-2	20	32,16	18,14
	E-3	24	39,44	30,49
	E-4	71	31,81	71,78
	E-5	70	35,14	74,91
	E-6	68	33,02	67,54
	E-7	198	30,6	202,03
	E-8	198	32,89	200,16
	E-9	194	29,62	206,06
	E-10	198	30,01	201,74
	E-11	197	31,51	204,04
	E-12	201	29,83	202,53

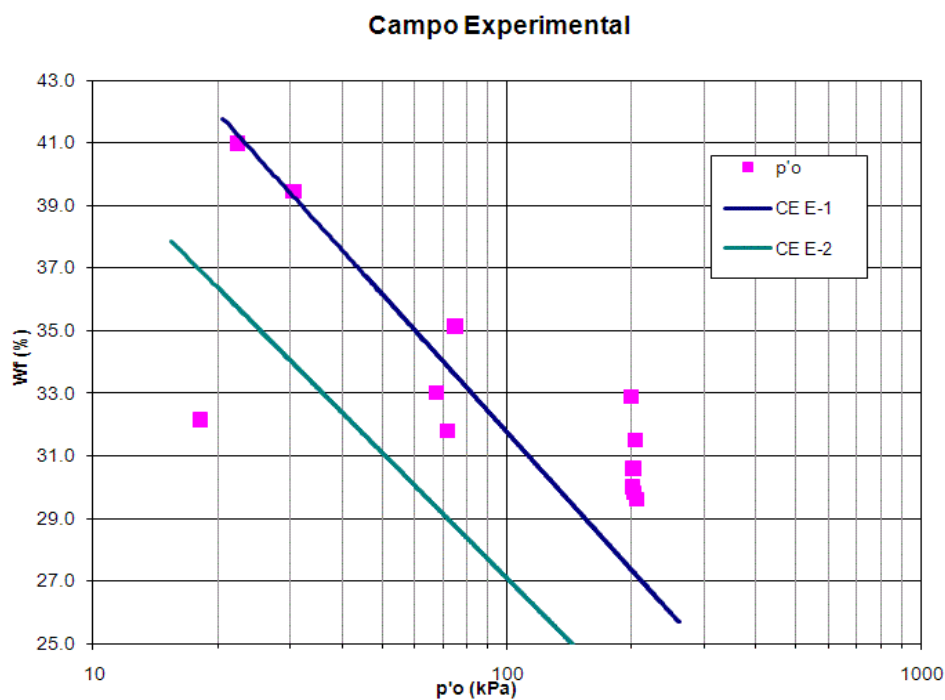


Figura 6.3 Relação entre: $\sigma'_v - W_f$ (%) e Linha Virgem dos ensaios CRD no Solo do Campo Experimental

Serão apresentados os resultados dos ensaios Triaxiais CIU, curvas tensão desviadora *versus* deformação axial ($\sigma_d \times \epsilon_a$), cisalhados às velocidades, conforme a

Tabela 6.5, isto é, comparando a mesma tensão efetiva (σ_c'), como já exposta, só na $\sigma_c'=200$ kPa, ensaiou-se com seis velocidades distintas. Além disso, serão comparadas as curvas de acréscimo de poro-pressão *versus* deformação axial ($\Delta u \times \epsilon_a$) obtidas na base e no meio do corpo de prova. Finalmente, é apresentada uma comparação das trajetórias de tensão ($p' \times q$).

Ensaio E-1 a E-3

Na Figura 6.4 ilustram-se os corpos de prova após o ensaio, estes apresentaram forma de barril, não sendo identificado um plano de ruptura.

Na figura 6.5 apresenta a influência da velocidade de cisalhamento com a tensão desviadora e poro-pressão de água para uma tensão de confinamento de 20 kPa e cisalhados a velocidades de 0.0033 mm/min, 0.033 mm/min e 33.33 mm/min. Na figura 6.5a, nota-se pouca influência do aumento da velocidade de cisalhamento para ensaios lentos (menores que 0.033 mm/min); pelo contrário, para elevadas velocidades (da ordem de 33.33 mm/min), observou-se uma maior influência da velocidade de cisalhamento. A tensão desviadora no estado crítica ($\epsilon_a=15\%$) aumentou mais do dobro (de 50 a 120 kPa). O comportamento do material ensaiado rapidamente (E-3) é completamente diferente dos lentos (E-1 e E-2); o módulo de deformabilidade inicial é muito maior para o ensaio rápido, nota-se a estabilização da tensão desviadora a partir do nível de deformação de 1%, mantendo-se constante até a deformação última.

O ensaio rápido apresentou maior desenvolvimento de acréscimo de poro-pressões positivo em comparação aos ensaios lentos. Contudo, os ensaios lentos seguem a mesma tendência de comportamento de acréscimos de poro-pressão, isso é um ligeiro aumento de Δu positivas na etapa inicial de deformações e um aumento de Δu negativas em deformações ultimas, ou seja, apresentou-se dilatância (Figura 6.5b). Esta tendência de incremento de poro-pressões negativa é um indicativo de um endurecimento do material, e um afastamento da possibilidade de liquefação.

Para o ensaio rápido, na base não foram medidos os Δu , já no meio gerou um severo aumento de poro- pressões positivas (na ordem de 20 kPa) em pequenas deformações, mantendo-se constante até deformações ultimas; já no meio, apresenta-se a geração de Δu positivas da ordem de 3,8 kPa para pequenas deformações e de Δu negativas conforme as deformações aumentam. No entanto, para os ensaios lentos (E-1),

o nível de poro-pressões apresentado na base e no meio são similares, com desenvolvimento de acréscimo de poro-pressões negativas para deformações ultimas (na ordem de 10 kPa). O ensaio E-2 (lento), não apresentou acréscimos de poro pressões na base, já no meio, manteve-se a tendência do ensaio E-1.

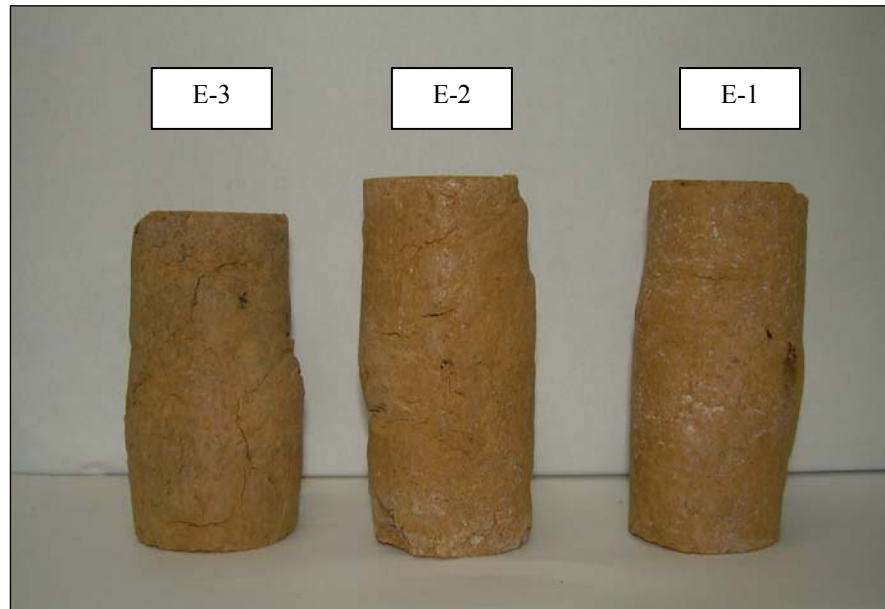


Figura 6.4: Corpos de provas com $\sigma'_{c'}=20$ kPa após os ensaios no solo do Campo Experimental

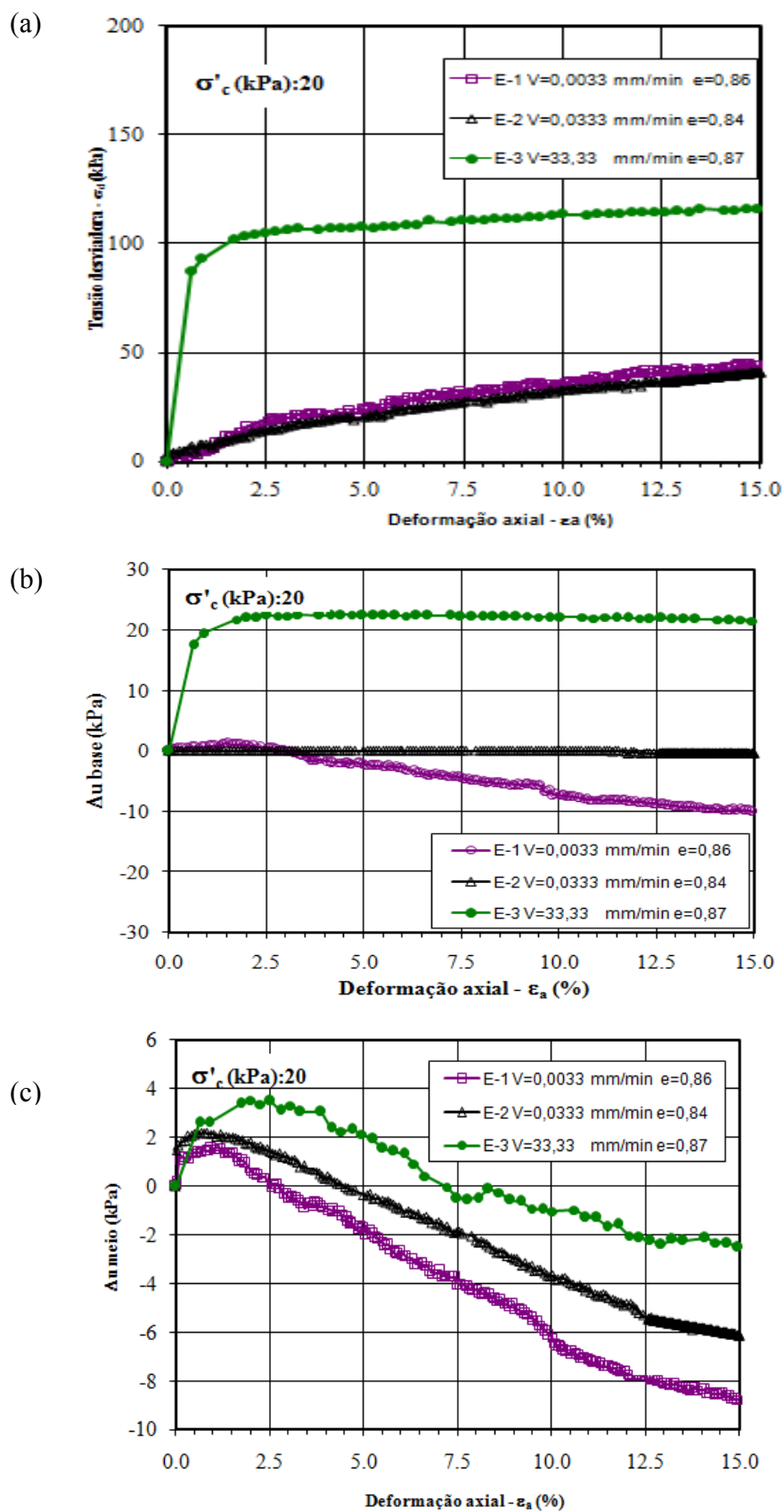


Figura 6.5: Curvas (a) $\sigma_d \times \epsilon_a$, (b) Δu (base) $\times \epsilon_a$ e (c) Δu (meio) $\times \epsilon_a$ para $\sigma'_c=20$ kPa no solo do Campo Experimental.

Ensaaios E-4 a E-6

Na figura 6.6 apresenta-se a influência da velocidade de cisalhamento com a tensão de desviadora e com a poro-pressão de água para uma tensão de confinamento de 70 kPa e cisalhados à velocidades de 0.0033 mm/min, 0.033 mm/min e 33.33 mm/min.

A diferença dos ensaios com $\sigma'_c=20$ kPa, os resultados apresentados na figura 6.7, sugere uma mesma tendência em todos. Para deformações iniciais existe um leve aumento da tensão desviadora para o ensaio rápido. No entanto, para deformações maiores observou-se a tensão desviadora para o ensaio lento ligeiramente maior. Para deformações da ordem de 15%, os três ensaios tendem a estabilizar-se ao redor de 80 kPa.

Em todos os ensaios foi observado desenvolvimento de poro-pressões positivas, no nível de 40 kPa, sugerindo um possível estado de instabilidade à liquefação.

Nota-se nos ensaios lentos, para deformações iniciais menores que 5%, os Δu são maiores, após desta deformação, varia, por exemplo, no ensaio E-4 o incremento de poro-pressão decresce ligeiramente, apresentando-se por debaixo do ensaio rápido. No entanto, o ensaio lento (E-5) manteve-se sempre por encima do rápido. A diferença dos ensaios com um confinamento de 20kPa, na figura 6.6c, observa-se que não existe grandes diferenças entre as poro-pressões na base e no meio.

Os índices de vazios são quase similares para os ensaios E-5- e E-6, no entanto, o ensaio E-4 apresenta um decréscimo de 13%. Esta diferencia de índices de vazios não afetou o comportamento tensão-deformação.

Na figura 6.9 note-se que o ensaio E-5 teve menor deformação, o esquema se repete na velocidade rápida (forma de barril).

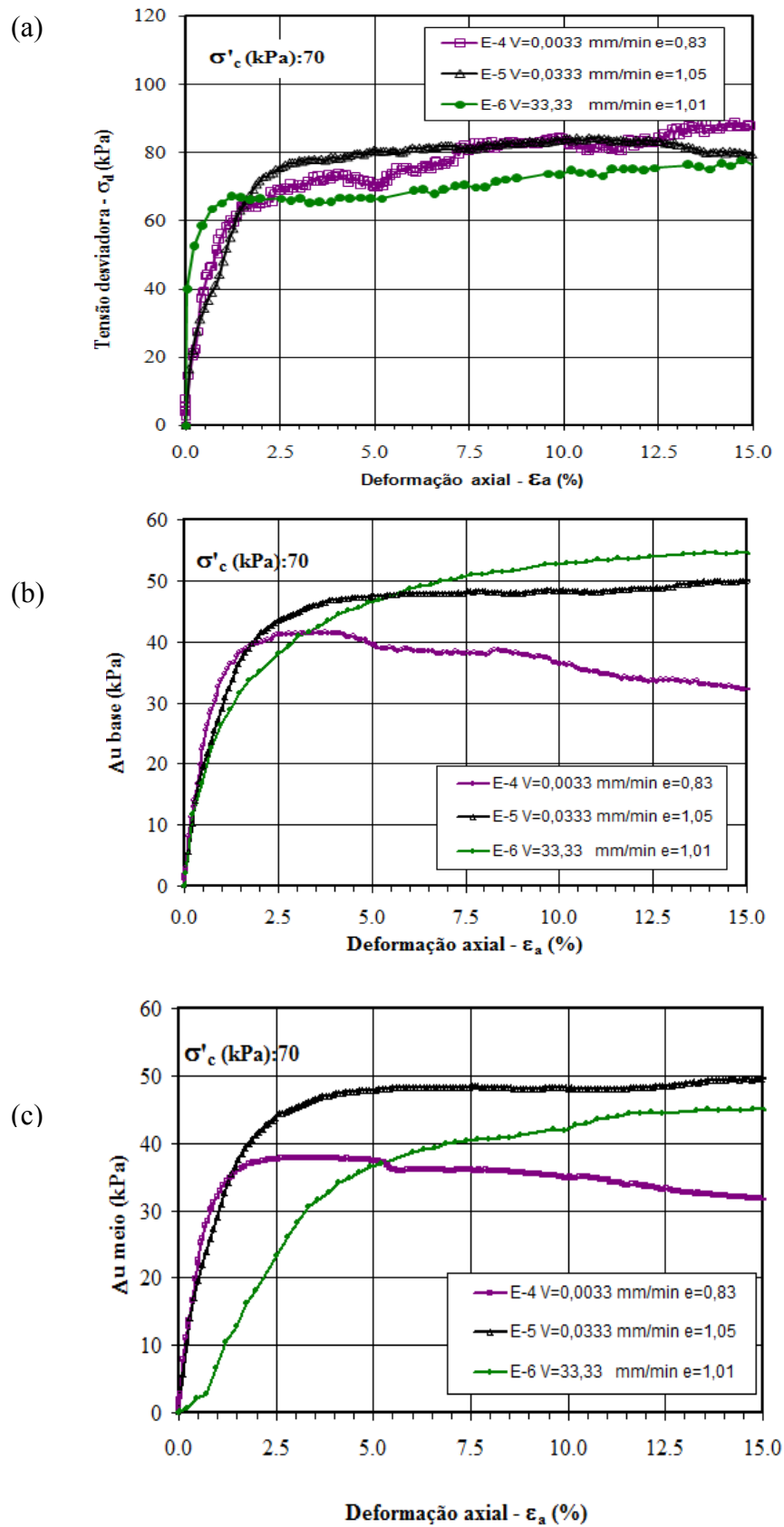


Figura 6.6: Curvas (a) $\sigma_d \times \epsilon_a$, (b) Δu (base) $\times \epsilon_a$ e (c) Δu (meio) $\times \epsilon_a$ para $\sigma'_c=70$ kPa no solo do Campo Experimental.

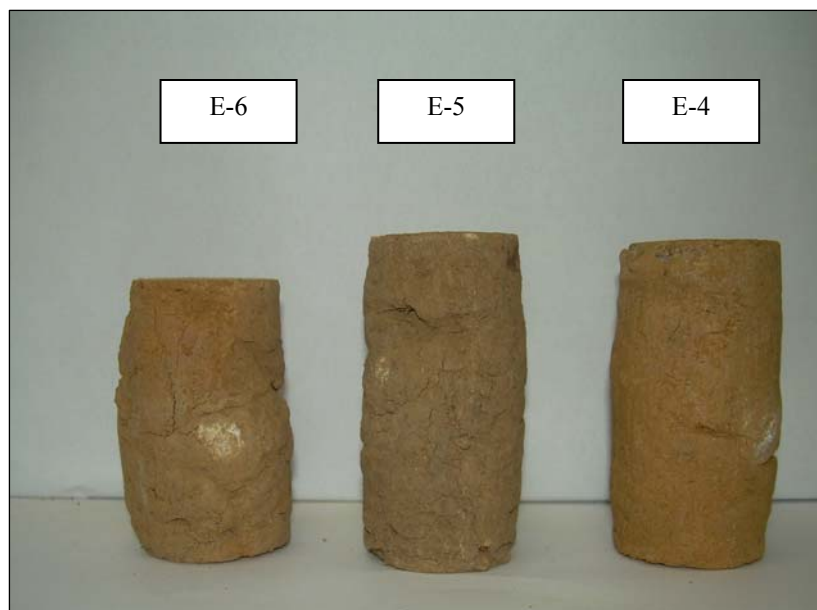


Figura 6.7: Corpos de provas com $\sigma'_c=70$ kPa após os ensaios no solo do Campo Experimental

Ensaaios E-7 a E-12

Na figura 6.9 apresenta-se a influência da velocidade de cisalhamento com a tensão desviadora e acréscimos de poro-pressão de água para tensão de confinamento efetiva de 200 kPa.

Note-se que as curvas tensão deformação de todos estes ensaios seguem uma mesma tendência. O ensaio E-12 (rápido) apresentou maior desenvolvimento da tensão desviadora que nos ensaios lentos (E-7 ou E-8). No ensaio E-11, considerado rápido, mostrou-se um nível de tensão desviadora similar aos ensaios lentos (E-7, E-8 e E-9), a pesar de apresentar um menor índice de vazios. Nos níveis de deformação 15% (estado crítico), os ensaios tendem a estabilizar-se ao redor da faixa de 130 a 160 kPa.

O desenvolvimento de poro-pressões positivas, da ordem de 120 kPa, foi observado em todos os ensaios. Todo incremento de Δu positivo, como já como foi visto nos ensaios de tensão confinante de 70 kPa, é um indicativo da possibilidade de instabilidade do material. A probabilidade de ocorrência a liquefação vai ser vista mais adiante, mais o primeiro caminho da identificação seria a ocorrência de aumento da poro-pressão positiva.

De modo similar que os ensaios confinados com 70 kPa de tensão efetiva, figura 6.9c, observa-se que não existe grandes diferenças entre as poro-pressões na base e no meio.

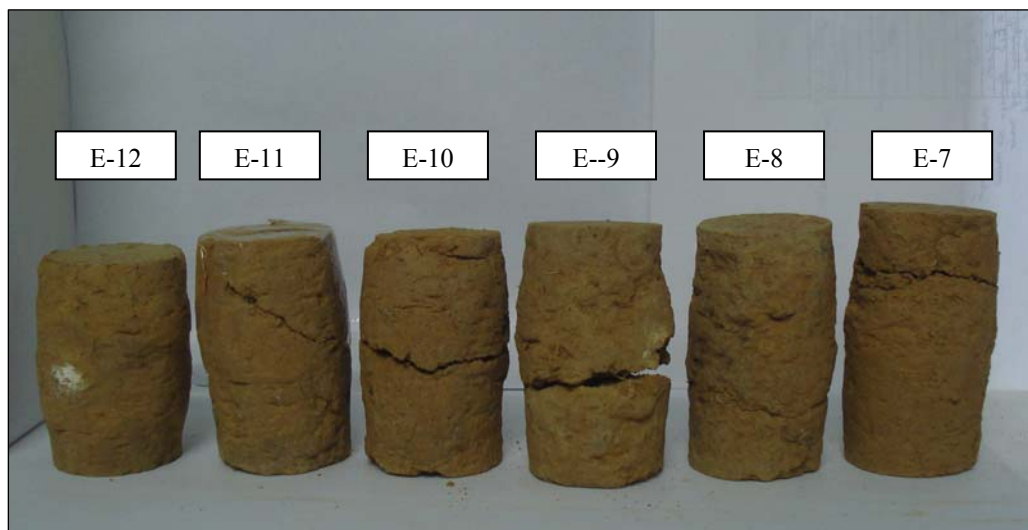


Figura 6.8: Corpos de provas com $\sigma_c'=200$ kPa após os ensaios no solo do Campo Experimental

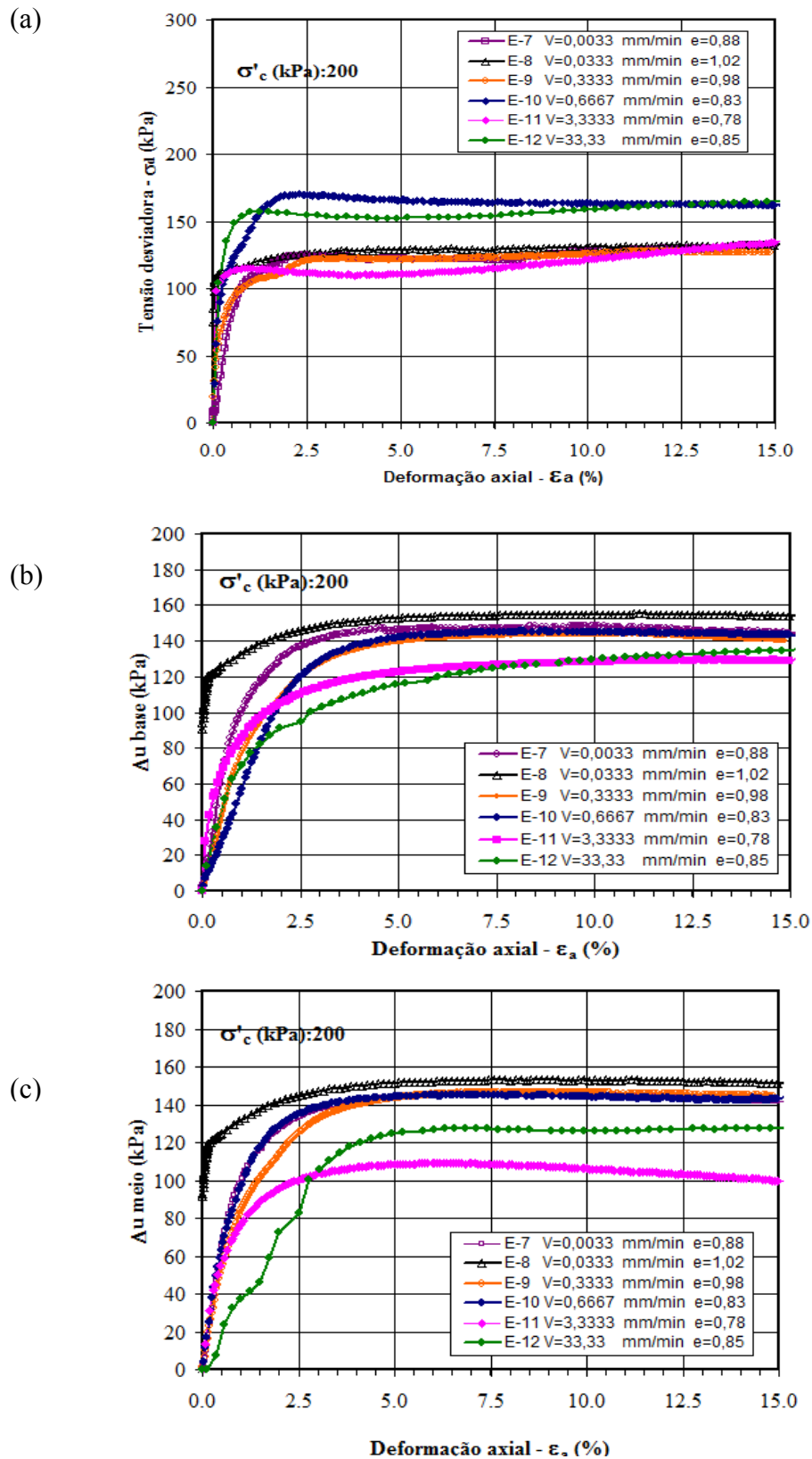


Figura 6.9: Curvas (a) $\sigma_d \times \epsilon_a$, (b) Δu (base) $\times \epsilon_a$ e (c) Δu (meio) $\times \epsilon_a$ para $\sigma'_c=200$ kPa no solo do Campo Experimental.

Quitite

Seguindo o esquema apresentado na Figura 6.3 para o solo do Campo Experimental, são mostradas para o solo do Quitite as relações dos gradientes dos ensaios CRD junto com a tensão efetiva de adensamento (p'_o) de cada ensaio triaxial. Na Tabela 6.8 são listados os valores de umidade final com p'_o , base para a Figura 6.10.

Tabela 6.8: Teor de Umidade final x tensão efetiva de adensamento - Quitite

Local	Ensaio	σ'_c (kPa)	Wf (%)	p'_o (kPa)
Quitite	E-13	21	25,95	21,70
	E-14	18	25,89	17,20
	E-15	17	26,94	23,40
	E-16	71	25,64	72,90
	E-17	71	26,81	73,90
	E-18	67	26,05	69,90
	E-19	199	26,78	204,50
	E-20	199	23,54	204,70
	E-21	195	26,09	200,99
	E-22	195	24,60	200,49
	E-23	197	24,26	204,04
	E-24	197	25,81	203,10

Na Figura 6.10 apresentam-se os gradientes dos Ensaios QUI E-3, QUI E-4 e QUI E-5, percebe-se que E-3 e E-4 guardam uma relação similar, já o ensaio E-5, não é possível estabelecer uma relação satisfatória entre eles.

Continuando com o esquema apresentado para o solo do Campo Experimental, serão apresentados os resultados dos ensaios Triaxiais CIU, curvas tensão desviadora *versus* deformação axial ($\sigma_d \times \epsilon_a$), cisalhados a diferentes velocidades, conforme a Tabela 6.6.

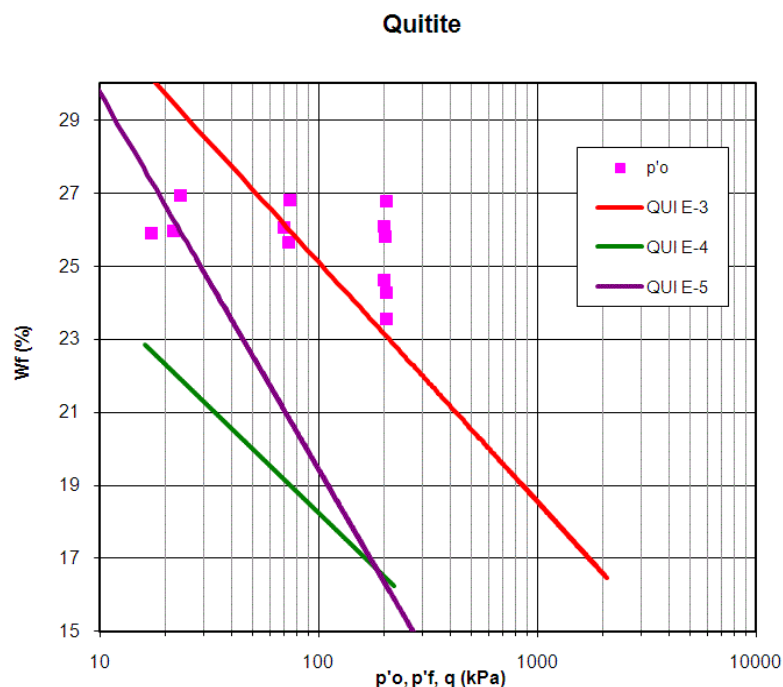


Figura 6.10: Relação entre: p'_o – W_f (%) e Linha Virgem dos ensaios CRD no Solo do Quitite

Ensaio E-13 a E-15

A Figura 6.11 apresenta três corpos de provas indeformados e cisalhados na condição não drenada com tensão efetiva de confinamento de 20 kPa, pode-se visualizar a forma de ruptura dos corpos de prova similar aos apresentados nos ensaios do Campo Experimental.

O comportamento apresentado no local de Quitite, para níveis de confinamento de 20 kPa e carregado com velocidades de 0.0033 mm/min, 0.033 mm/min e 33.33 mm/min., representados nos ensaios E-13, E-14 e E-15 (ver Tabela 6.6), são apresentados na Figura 6.12.

O efeito da velocidade no aumento da tensão desviadora é mostrado na figura 6.12a. Para deformações menores de 3% o ensaio rápido apresentou uma maior tensão desviadora que os ensaios lentos. Após de 3% de deformação, o ensaio mais lento (E-13) excede ligeiramente ao rápido, seguindo uma mesma tendência até o estado crítico (15%). No entanto o ensaio lento (E-4) desenvolveu tensões desviadora menores da ordem da metade das desenvolvidas pelos outros dois ensaios, mesmo apresentando índice de vazios similares.

Na figura 6.12 b e c, avaliam-se os acréscimos de poro-pressão, medidos na base e no meio do corpo de prova, estes não apresentaram diferenças marcantes para os ensaios lentos; no entanto para os ensaios rápidos apresentam-se maiores Δu positivas na base. Os ensaios lentos mostram acréscimo de poro-pressão negativos, em quanto os ensaios rápidos mostraram um leve acréscimo de poro-pressões positivas da ordem de 2 kPa. De maneira similar aos ensaios do solo no Campo Experimental para a mesma tensão de confinamento, a menor velocidade gerou maiores acréscimos de poro-pressão negativa. Neste nível de tensões o material está afastando-se de uma possível liquefação, mostrando um comportamento dilatante.

Cabe mencionar que o índice de vazios e teor de umidade foram aproximadamente os mesmos.



Figura 6.11: Corpos de provas com $\sigma'_c=20$ kPa após os ensaios no solo de Quitite.

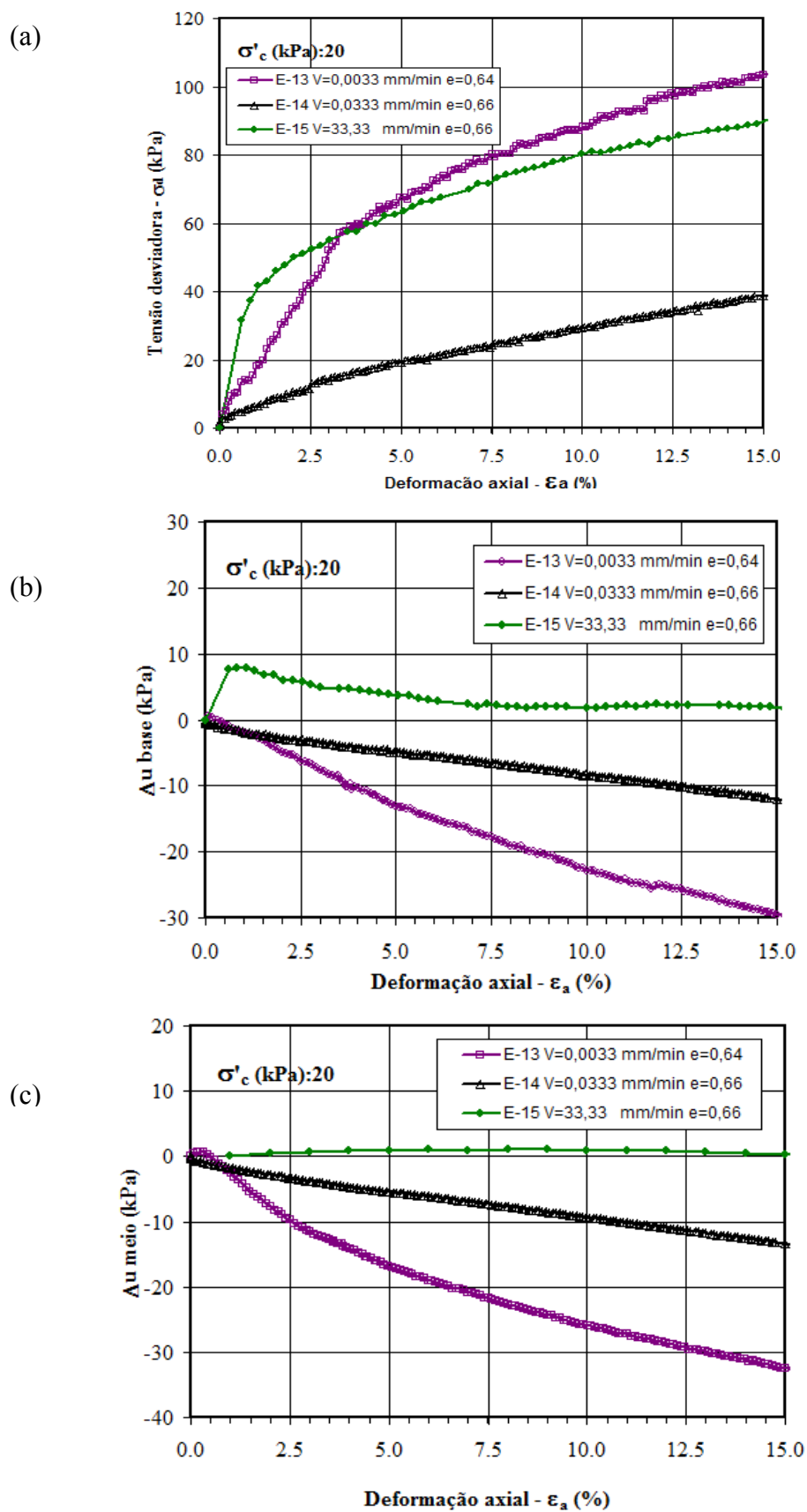


Figura 6.12: Curvas (a) $\sigma_d \times \epsilon_a$, (b) Δu (base) $\times \epsilon_a$ e (c) Δu (meio) $\times \epsilon_a$ para $\sigma'_c=20$ kPa no solo do Quitite.

Ensaaios E-16 a E-18

Note-se que o esquema de ruptura é observado nos ensaios adensados com 70 kPa de tensão efetiva (Figura 6.13). Resultados dos ensaios E-16, E-17 e E-18, são mostrados na figura 6.14, os índices de vazios iniciais e o teor de umidade apresentaram diferença de 10% (E-16 e E-17). Na figura 6.14a mostra-se um comportamento tensão deformação similar para todos os ensaios. Apresentando uma mesmo modulo e deformação inicial. Para deformações maiores a 2% o ensaio mais lento (E-16) desenvolve maiores tensões desviadoras, seguido pelo outro ensaio lento (E-17), e ao final com tensões mais baixas o ensaio rápido (E-18).

Para este nível de tensões de adensamento todos os ensaios desenvolvam acréscimo de poro-pressões positivo. Para níveis de deformações menores a 3% os ensaios lentos apresentaram maiores Δu positivo que no ensaio rápido. No entanto, para niveles de deformações maiores a 3%, a tendência dos ensaios lentos é a diminuir Δu , o ensaio rápido mantém-se constante, ou seja, continua desenvolvendo Δu positivo. Ao final das deformações (15%), o ensaio rápido apresentou maior acréscimo de poro-pressões que nos ensaios lentos. A diferença entre nas poro-pressões na base e no meio é notável para o ensaio rápido, na base nota-se maiores acréscimos de poro-pressões positivas a pequenas deformações, já no meio a tendência é ao aumento de Δu com as deformações. Analisando os ensaios lentos, estes não apresentam diferencias ressaltantes.

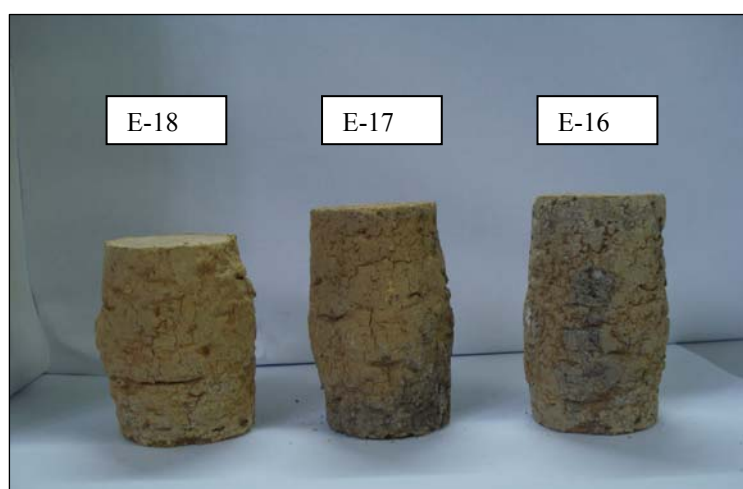


Figura 6.13: Corpos de provas com $\sigma'_{c}=70$ kPa após os ensaios no solo do Quitite.

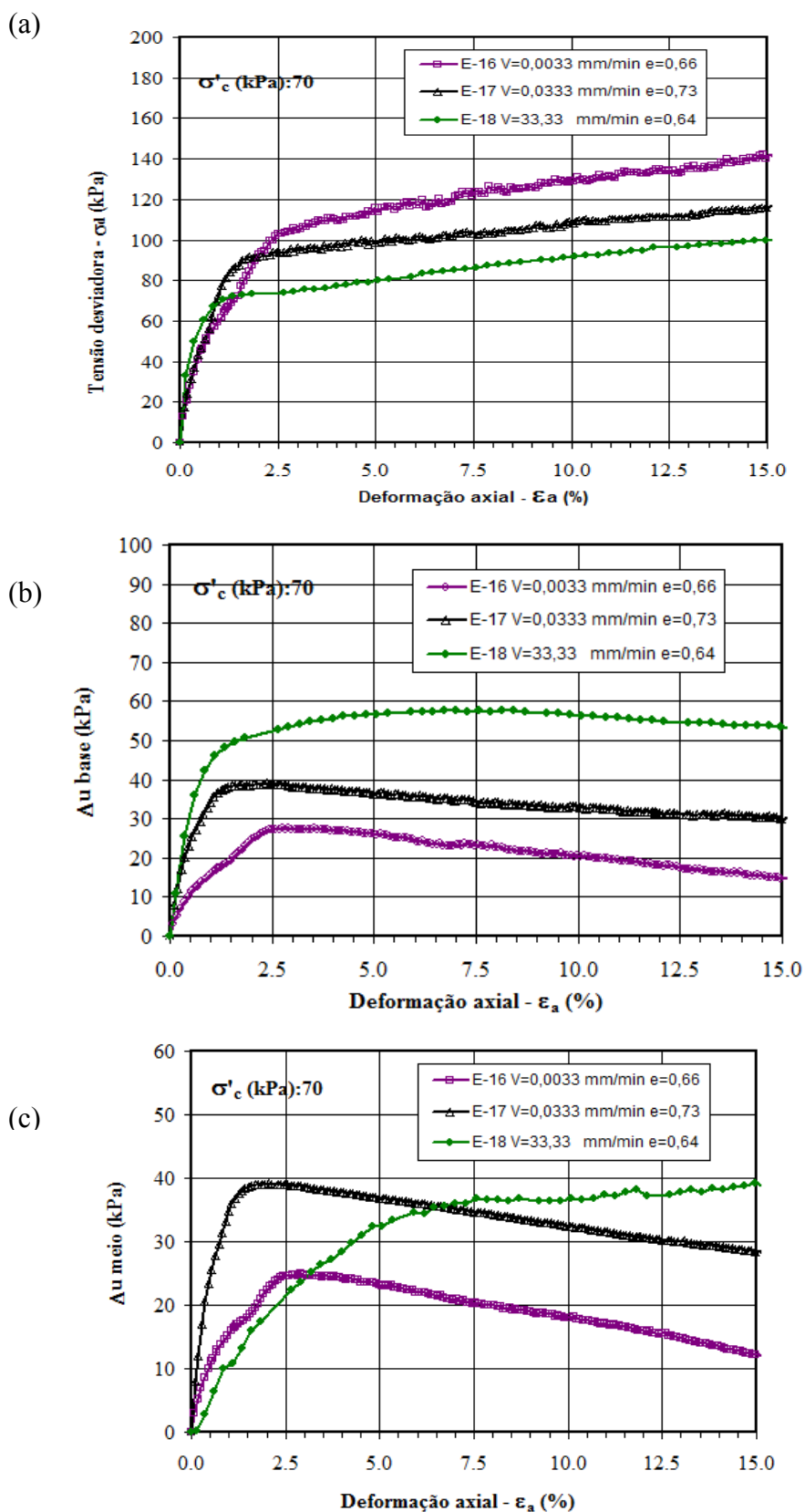


Figura 6.14: Curvas (a) $\sigma_d \times \epsilon_a$, (b) Δu (base) $\times \epsilon_a$ e (c) Δu (meio) $\times \epsilon_a$ para $\sigma'_c=70$ kPa no solo do Quitite.

Ensaaios E-19 a E-24

Resultados dos ensaios E-19, E-20, E-21, E-22, E-23 e E-24, são mostrados na figura 6.16, os índices de vazios iniciais e o teor de umidade apresentaram-se próximos, a única diferença é apresentada no ensaio E-23, com $e=0.66$ e $W=18.72\%$ (Ver Tabela 6.6).

As curvas tensão-deformação dos ensaios com corpos de prova adensados com tensão confinante efetiva de 200 kPa, apresentaram um mesmo comportamento, um aumento severo da tensão desviadora para níveis de deformações menores que 1%, após desta deformação cai para um patamar de escoamento plástico. O ensaio E-19, de menor velocidade de cisalhamento, observou-se um maior desenvolvimento da tensão desviadora que qualquer outro, atingindo ordenes de 240 kPa, embora apresentando índice de vazios similares. Já os outros ensaios mostraram tensões desviadoras menores na ordem de 100 a 180 kPa, todos com uma tendência similar.

Na figura 6.16 b e c, apresentam-se o desenvolvimento de acréscimos de poro-pressão positivos, mostrando comportamentos similares. Destacando-se o ensaio rápido (E-24) que apresentou menores incrementos de poro-pressões positivos para deformações menores a 5%. Após disso estabilizou-se até chegar ao estado critico com valores similares aos demais ensaios. Observou-se ainda que não apresentam diferenças notáveis entre as poro-pressões na base e no meio.



Figura 6.15: Corpos de provas com $\sigma'_c=200$ kPa após os ensaios no solo do Quitite.

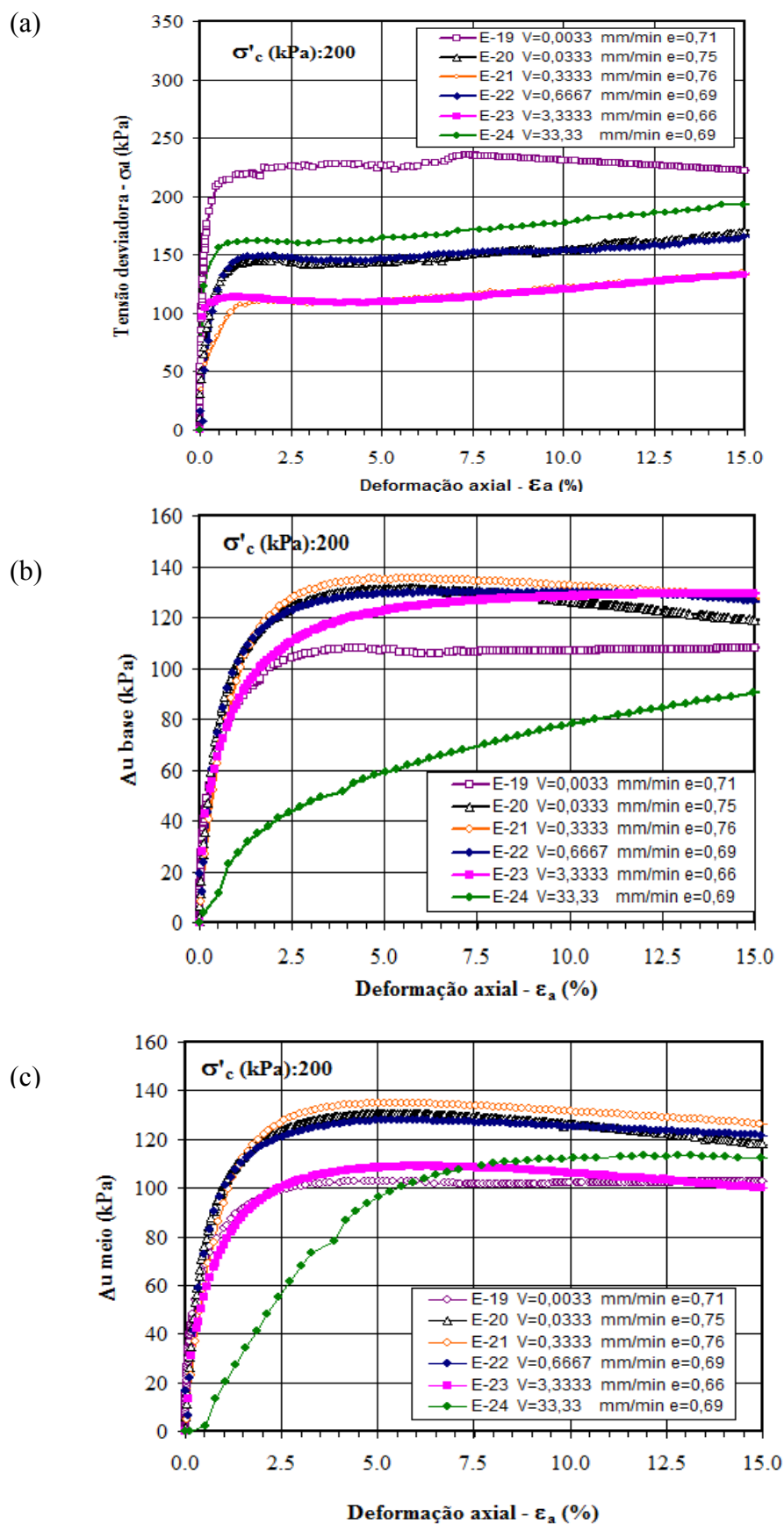


Figura 6.16: Curvas (a) $\sigma_d \times \epsilon_a$, (b) Δu (base) $\times \epsilon_a$ e (c) Δu (meio) $\times \epsilon_a$ para $\sigma'_c=200$ kPa no solo do Quitite.

6.2.2.1.

Dados na Ruptura

Os valores da tensão desviadora, deformação axial, excesso de poro-pressão e os valores de p' e q na ruptura, nos ensaios CIU, são listados na Tabela 6.9. Foram assumidos dois critérios de valores máximos, devido aos ensaios E-1, E-2 e E-14 onde se observou que a resistência do solo aumenta com a deformação (comportamento de enrijecimento do material), logo, este não apresenta um máximo definido na curva tensão desviadora x deformação. Primeiro, adotou-se que o máximo ocorreu ao ser atingido à tensão desviadora máxima. O outro critério foi proposto por Campos e Delgado (1995), onde os autores assumem que o solo, com comportamento semelhante a este, rompe quando a curva tensão desviadora x deformação axial atinge pela primeira vez uma inclinação (α) aproximadamente constante, além, para um melhor entendimento, normalizou-se as tensões (σ'_1/σ'_3), estes dados serão chamados Normalizados.

Tabela 6.9: Dados Máximos e Normalizados na Ruptura

Local				Máximo					Normalizados					
	Ensaio	σ'_c (kPa)	Vel mm/min	σ'_a (%)	σ'_d (KPa)	Su (kPa)	p' (kPa)	Δu (kPa)	σ'_a (%)	σ'_1/σ'_3	σ'_d (KPa)	Su (kPa)	p' (kPa)	Δu (kPa)
Campo Experimental	E-1	21	0.0033	2,80	19,50	9,75	31,04	-0,52	3,00	1,9	20,34	10,17	33,03	-0,52
	E-4	71	0.0033	1,50	64,60	32,30	66,53	36,33	2,27	3,0	65,85	32,93	67,22	37,49
	E-7	198	0.0033	1,95	122,70	61,35	128,59	130,40	2,64	2,8	122,54	61,27	128,41	134,90
	E-2	20	0.0333	2,10	13,40	6,70	26,14	0,48	5,00	2,1	104,27	9,22	27,52	3,54
	E-5	70	0.0333	2,08	61,60	30,80	59,50	41,69	4,80	1,8	62,18	34,37	61,47	39,98
	E-8	198	0.0333	2,50	131,30	65,65	118,48	145,25	5,15	1,9	157,15	67,55	116,01	125,36
	E-3	24	33.333	1,00	95,70	47,85	69,44	2,60	2,05	4,9	104,27	52,14	79,09	3,54
	E-6	68	33.333	0,74	55,20	27,60	92,47	2,68	7,10	3,3	62,18	31,53	58,98	39,98
	E-12	201	33.333	0,85	156,00	78,00	246,12	32,42	5,36	3,1	157,15	78,57	155,74	125,36
	E-9	194	0.333	1,27	106,90	53,45	152,88	94,52	3,53	3,0	124,55	62,27	123,73	132,50
	E-10	198	0.667	1,29	149,60	74,80	162,99	109,69	3,84	3,8	170,75	85,38	146,26	137,00
	E-11	197	3.333	0,55	112,60	56,30	194,35	59,15	1,84	2,2	115,21	57,60	151,92	102,89
Quitite	E-13	21	0.0033	3,42	57,40	28,70	62,68	-12,64	3,57	2,7	59,43	29,72	64,35	-12,93
	E-16	71	0.0033	2,75	104,10	52,05	97,83	24,34	3,03	3,2	105,37	52,68	100,99	24,58
	E-19	199	0.0033	0,67	215,00	107,50	233,30	73,33	6,96	3,5	233,67	116,83	208,79	106,71
	E-14	18	0.0333	5,00	20,70	10,35	33,53	-5,50	5,00	1,9	19,69	9,84	32,51	-5,50
	E-17	71	0.0333	1,41	87,00	43,50	75,83	38,42	1,70	3,6	93,14	46,57	81,45	39,05
	E-20	199	0.0333	0,86	139,60	69,80	171,99	97,18	2,07	2,7	150,09	75,04	160,16	119,55
	E-15	17	33.33	1,30	43,70	21,85	59,40	0,85	1,50	3,1	46,67	23,33	45,71	1,03
	E-18	67	33.33	0,90	70,00	35,00	127,30	10,04	5,72	3,4	83,13	41,56	76,96	34,55
	E-24	197	33.33	0,70	157,60	78,80	352,27	2,36	6,61	2,7	167,19	83,59	181,24	105,44
	E-21	195	0.333	1,27	106,90	53,45	144,11	104,44	2,84	2,7	108,62	54,31	119,44	129,97
	E-22	195	0.667	1,29	149,60	74,80	162,12	107,68	2,12	3,0	148,23	74,12	149,06	120,06
	E-23	197	3.333	0,55	112,60	56,30	194,35	59,15	1,53	2,1	112,90	56,45	155,69	97,96

Da Tabela 6.7, serão geradas comparações da resistência com a velocidade, como na figura 6.17 e 6.18 que apresentam as variações da resistência não drenada com a velocidade.

As relações obtidas para o solo do Campo Experimental são expostas na Figura 6.17, observa-se que há uma tendência da resistência aumentar com o crescimento da velocidade na tensão efetiva de adensamento menor ($\sigma'_c=20$ kPa). Para a tensão efetiva de adensamento igual a 70 kPa, percebe-se pouca diferença com o aumento da velocidade, mantendo-se quase constante, já nos ensaios com maiores tensões de adensamento ($\sigma'_c=200$ kPa) segue uma ligeira tendência ao incremento na resistência a maior velocidade.

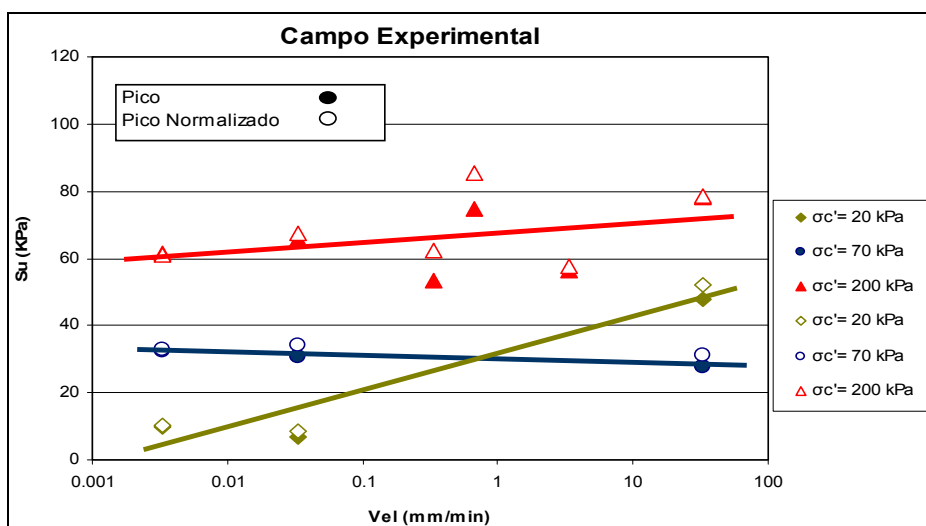


Figura 6.17: Relação de Su e velocidade no solo do Campo Experimental

As relações obtidas para o solo do Quitite são apresentadas na Figura 6.18. Note-se que não é possível estabelecer uma relação satisfatória entre a resistência não drenada e a velocidade de cisalhamento para os ensaios adensados com $\sigma'_c=20$ e 200 kPa, na tensão confinante meia ($\sigma'_c=70$ kPa) manteve-se linearidade nos valores.

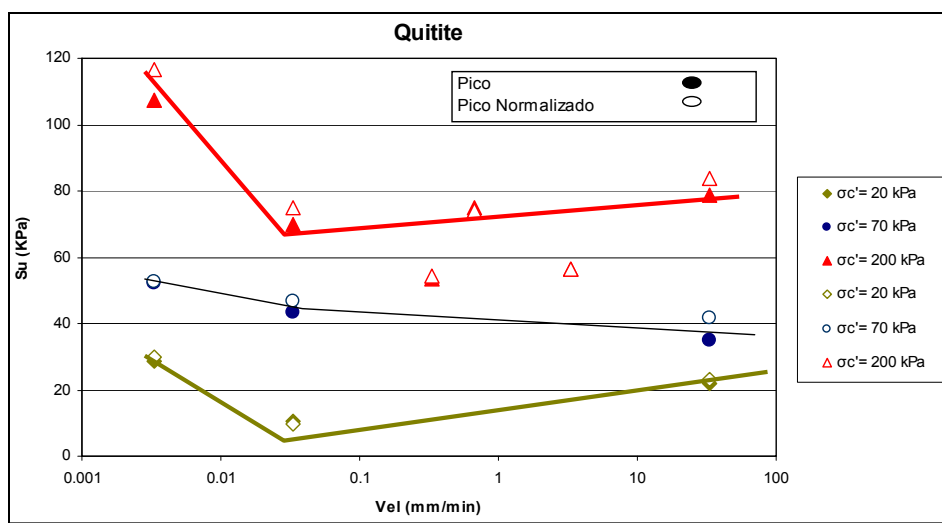


Figura 6.18: Relação de S_u e velocidade no solo do Quitite

Como se observa a obtenção da resistência do solo é pouco influenciado pelos critérios adotados, em adiante, para os gráficos que intervenham a resistência não drenada, será utilizada a denominada Máxima.

O comportamento no estado crítico (15%) foi listado na Tabela 6.10, e na Figura 6.19 a e b apresentam as relações no diagrama p' - q dos solos do Campo Experimental e de Quitite, deles pode-se notar que foram utilizados os ensaios lentos e rápidos, este fato não interferiu na obtenção da envoltória, na figura 6.19a, o ensaio E-11 é o único que não guarda semelhança afastando-se a direita da envoltória. Comportamento similar é mostrado no solo de Quitite.

Tabela 6.10: Valores obtidos no estado crítico

Local	Ensaio	σ'_c (kPa)	Vel mm/min	q (kPa)	p' (kPa)
Campo Experiemental	E-1	21	0,0033	22,12	53,26
	E-2	20	0,0333	18,32	42,33
	E-3	24	33,333	57,78	90,77
	E-4	71	0,0033	44,04	84,07
	E-5	70	0,0333	33,45	58,86
	E-6	68	33,333	34,61	57,16
	E-7	198	0,0033	66,11	119,12
	E-8	198	0,0333	67,25	116,27
	E-9	194	0,333	64,64	118,40
	E-10	198	0,667	82,59	141,37
	E-11	197	3,333	68,21	172,40
	E-12	201	33,333	83,50	158,58
Quitite	E-13	21	0,0033	51,79	105,92
	E-14	18	0,0333	19,46	49,94
	E-15	17	33,33	44,63	67,11
	E-16	71	0,0033	70,07	130,83
	E-17	71	0,0333	57,86	103,35
	E-18	67	33,33	50,24	81,06
	E-19	199	0,0033	110,94	201,76
	E-20	199	0,0333	84,43	164,55
	E-21	195	0,333	67,67	142,33
	E-22	195	0,667	82,73	161,54
	E-23	197	3,333	66,47	170,66
	E-24	197	33,33	94,68	185,60

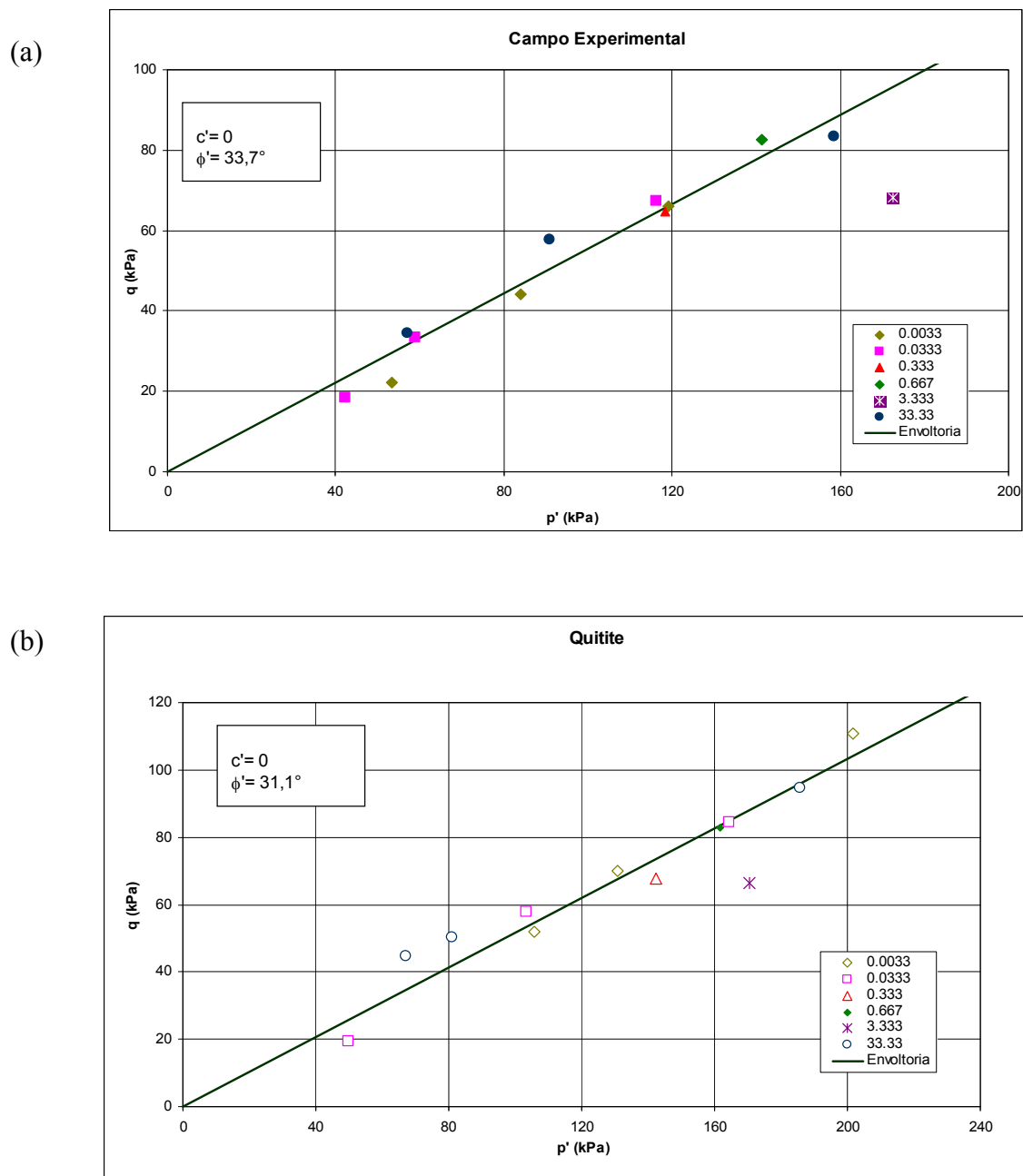


Figura 6.19: Diagrama p' - q dos estados críticos, a) Campo Experimental e b) Quitite

6.2.2.2.

Módulos de deformação

A Tabela 6.11 apresenta o módulo de deformação secante para 50 % da tensão desviadora máxima ($E_{s50\%}$) referentes aos ensaios nos solos de Campo Experimental e Quitite.

Tabela 6.11: Módulos de Deformação Secante ($E_{50\%}$)

Local	Ensaio	σ'_c (kPa)	Vel mm/min	$E_{50\%}$ (MPa)
Campo Experimental	E-1	21	0,0033	0,65
	E-2	20	0,0333	0,43
	E-3	24	33,33	13,89
	E-4	71	0,0033	8,73
	E-5	70	0,0333	6,16
	E-6	68	33,33	8,17
	E-7	198	0,0033	18,59
	E-8	198	0,033	656,50
	E-9	194	0,333	40,00
	E-10	198	0,667	56,13
	E-11	197	3,333	112,60
	E-12	201	33,33	82,47
Quitite	E-13	21	0,0033	1,91
	E-14	18	0,0333	0,52
	E-15	17	33,33	6,33
	E-16	71	0,0033	8,46
	E-17	71	0,0333	10,88
	E-18	67	33,33	21,88
	E-19	199	0,0033	1075,00
	E-20	199	0,0333	69,80
	E-21	195	0,333	38,18
	E-22	199	0,667	35,62
	E-23	197	3,333	140,75
	E-24	197	33,33	131,33

A Figura 6.20 apresenta a variação dos módulos de deformação secante para 50 % da tensão desviadora máxima ($E_{s50\%}$), de acordo com a tensão confinante efetiva para os solos do Campo Experimental e do Quitite.

Analisando os gráficos das Figuras 6.20 e 6.21 com os dados da Tabela 6.9, verifica-se que, de maneira geral, os módulos referentes ao solos do Campo Experimental e Quitite são similares para as tensões confinantes de 20 e 70 kPa, já para 200 kPa apresentam uma maior dispersão destes valores. De maneira geral observou-se que para maiores tensões de confinamento apresentaram-se maiores valores de módulos secantes. Esta diferença foi menos marcante para o ensaio rápido.

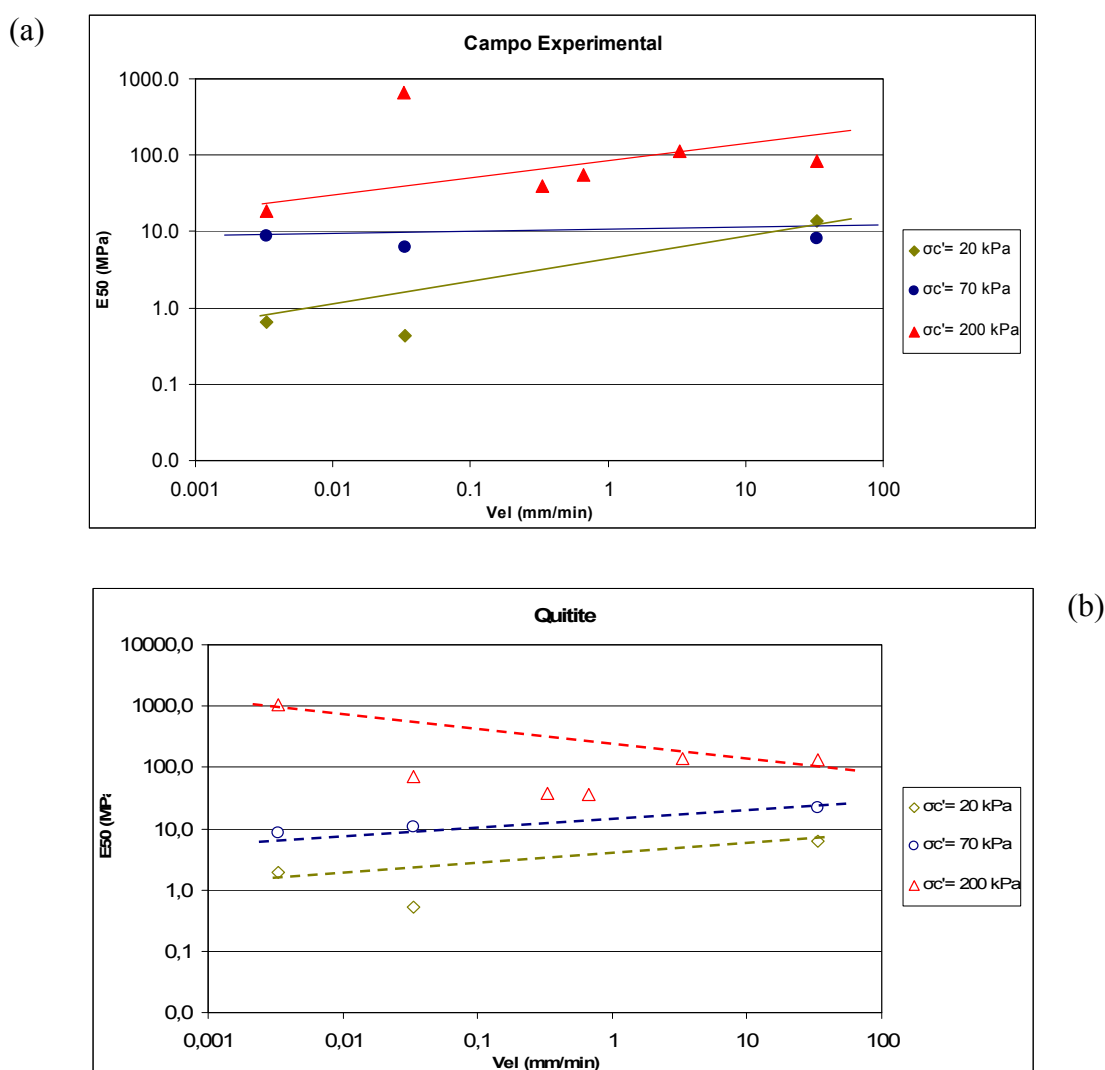


Figura 6.20: Relação do Módulo $E_{s50\%}$ e da Velocidade de Cisalhamento a) Campo Experimental e b) Quitite

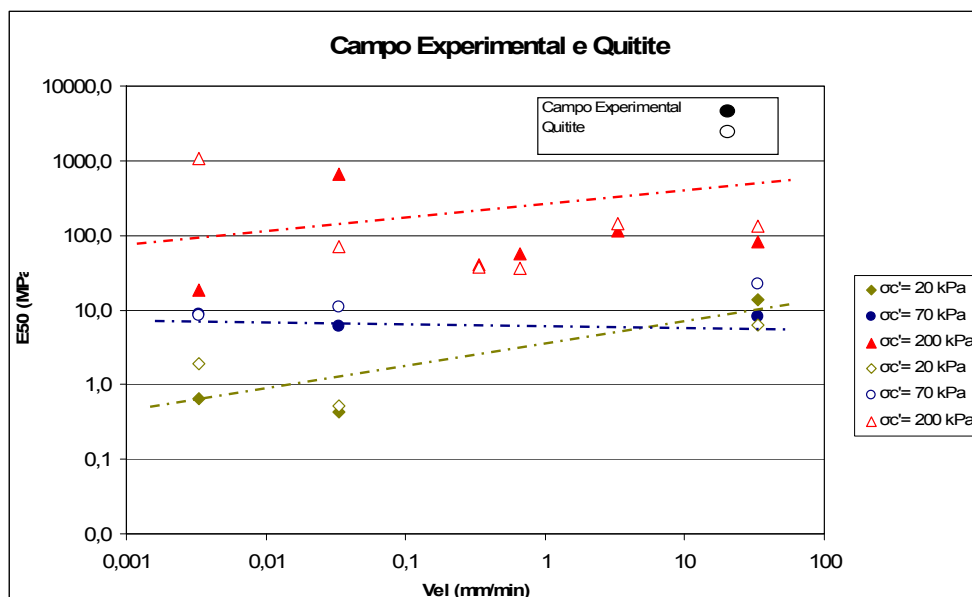


Figura 6.21: Relação do Módulo $E_{50\%}$ e da Velocidade de Cisalhamento para os Solos do Campo Experimental e Quitite

6.3.

Avaliação do Potencial de Liquefação

A susceptibilidade à liquefação de alguns tipos de solos coluvionares poderia ser considerada alta, quando se apresentam soltos, com elevados índices de vazios, tensões de confinamento baixas e em locais de chuvas intensas. O incremento de poro-pressões positiva induzido pelas intensas chuvas reduz a resistência não drenada dos colúvios até alcançar a liquefação. Dois solos coluvionares foram investigados neste trabalho por meio de ensaios triaxiais não drenados em amostras indeformadas e adensados isotropicamente.

Neste item será avaliado o comportamento de resistência não drenada baseando-se nas medições de poro-pressão obtidas no meio do corpo de prova.

6.3.1.

Comportamento σ vs. ϵ

Com o intuito de avaliar a liquefação, consideraram-se as definições seguidas por Tibana (1997), nos análise dos resultados dos ensaios triaxiais foram realizadas em três fases: mudança de estrutura (Tabela 6.7), mudança de fase e estado crítico (15% de deformação axial). Baseado nas curvas tensão desviadora x deformação axial foram determinada os ponto de mudança de estrutura. Utilizando a curva poro-pressão x deformação axial foi determinada o ponto de mudança de fase.

6.3.1.1

Definição de Mudança de Estrutura (Colapso)

Nos ensaios de deformação controlada, é caracterizado pela estabilização ou diminuição temporária da tensão desviadora mobilizada, pois a taxa de deformação é restringida. A queda ou estabilização da tensão desviadora sugere que as partículas e grãos do material estão se rearranjando, formando uma nova configuração da estrutura do corpo de prova (Tibana, 1997).

Nos resultados dos ensaios de deformação controlada apresentados nas Figuras de comportamento tensão-deformação observou-se a estabilização da tensão desviadora mobilizada em quase todos os ensaios, não influenciada pela velocidade de cisalhamento e mantendo-se estável até as deformações ultimas. Assim, adotaram-se dois critérios para determinar a mudança de estrutura dos ensaios, os quais foram descritos no Item 6.2.2.1, considerou-se a tensão máxima a pequenas deformações como a tensão de mudança de estrutura, foram avaliados os ensaios lentos e rápidos por separado, tal fato, é recomendado para diminuir a influência da velocidade de cisalhamento.

Na Figura 6.22, observa-se a influência da velocidade de cisalhamento (como já visto no Item 6.2.2) nos valores obtidos na resistência não drenada máxima, nos ensaios lentos obteve-se atrito maior em comparação aos ensaios rápidos, na figura 6.22 a, nota-se que o ensaio de velocidade 0.333 mm/min não apresenta a mesma tendência da envoltória obtida. Nos ensaios rápidos, só foram avaliados quatro, dos quais, o ensaio E-3, não se ajusta à tendência obtida (Figura 6.22b). A pesar de não ser satisfatório pode-se verificar o atrito menor que nos ensaios lentos numa ordem de 30%.

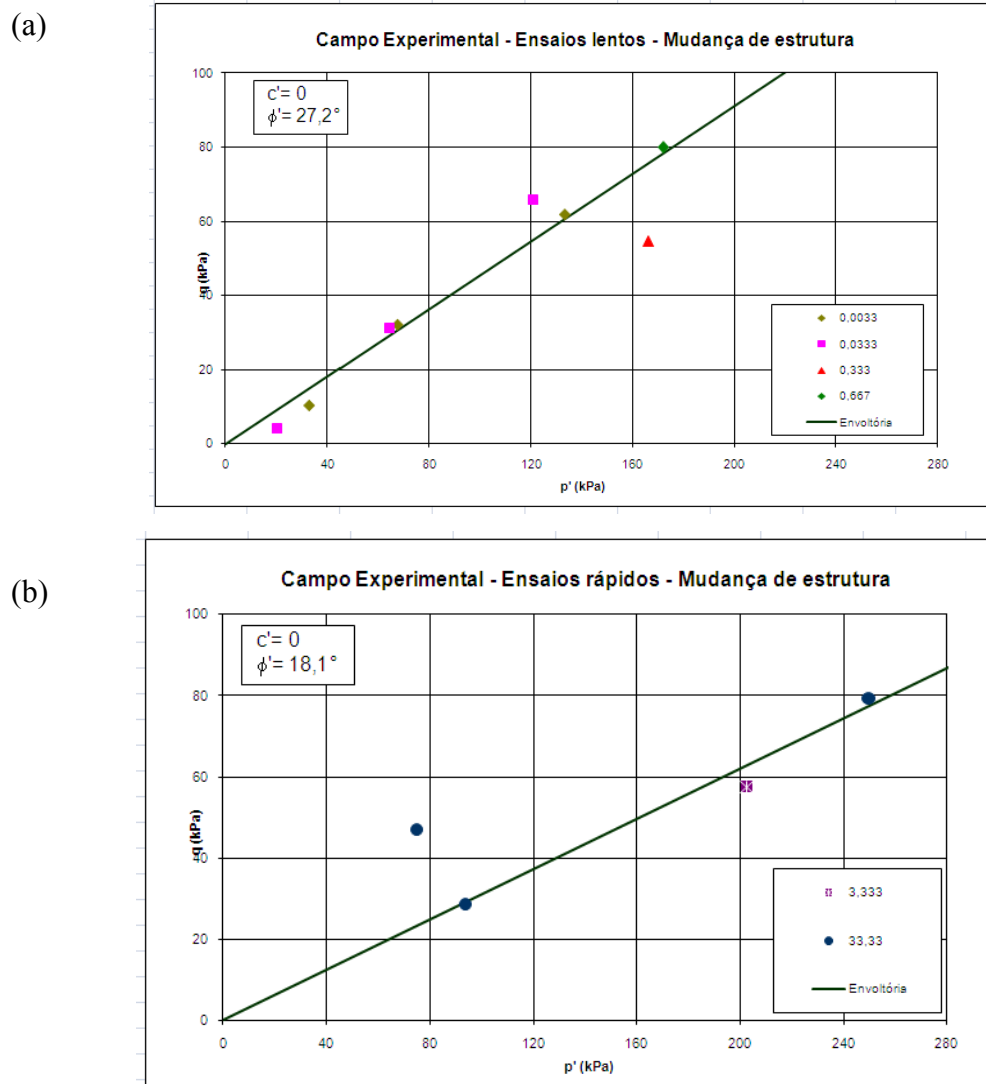


Figura 6.22: Envoltórias de Mudança de estrutura para ensaios lentos (a) e rápidos (b) no solo do Campo Experimental

Ensaios lentos e rápidos obtidos para os solos de Quiitte apresentaram a mesma tendência já vista nos solos coluvionares do Campo Experimental, observa-se na Figura 6.23, para velocidades de cisalhamento menores, o atrito aumenta, já nos ensaios rápidos note-se que a dispersão é mínima.

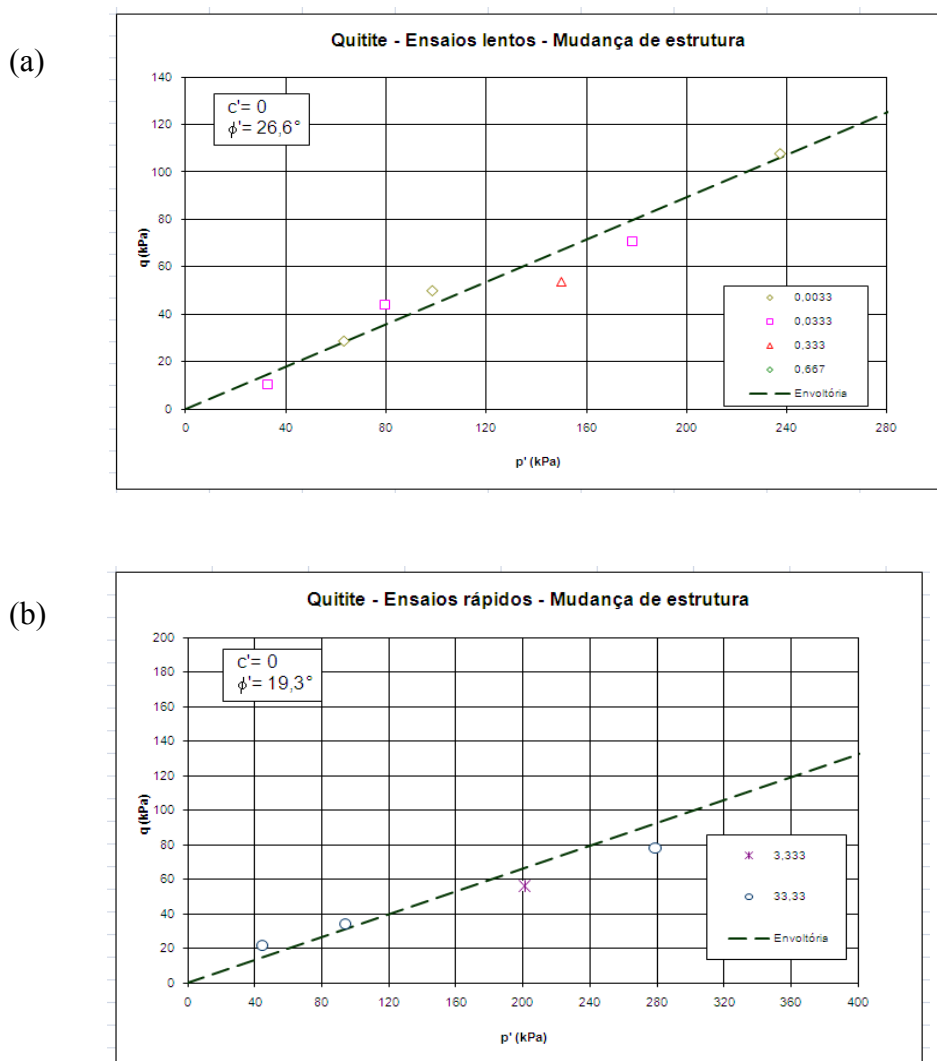


Figura 6.23: Envoltórias de Mudança de estrutura para ensaios lentos (a) e rápidos (b) no solo do Quitite

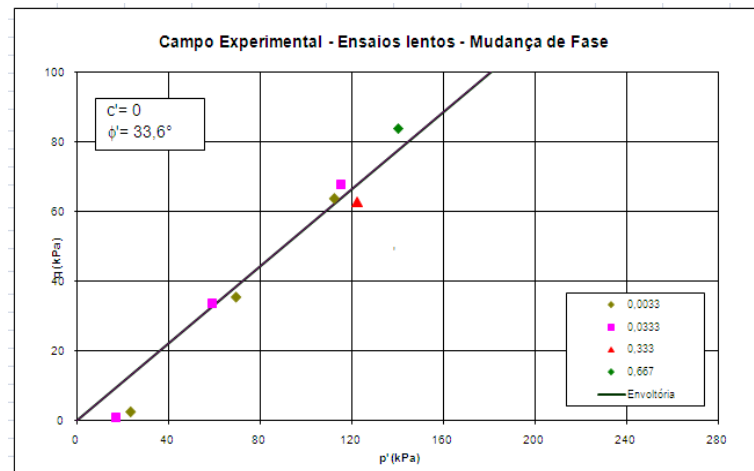
6.3.1.2

Definição de Mudança de Fase

A linha de mudança de fase indica uma mudança na tendência de alteração de volume, de contração para dilatação. Os pontos das trajetórias de tensões efetivas de um ensaio triaxial do tipo CIU, coincidentes com esta linha, correspondem ao valor máximo do excesso de poro-pressões induzido durante o ensaio.

Na figura 6.24 apresentam-se as envoltórias de mudança de fase para ensaios lentos e rápidos, efetuados no solo do Campo Experimental, note-se que os parâmetros de resistência se ajustam para ambas, concluindo-se que a influência da velocidade de cisalhamento não afeta a tendência na determinação deste estado.

(a)



(b)

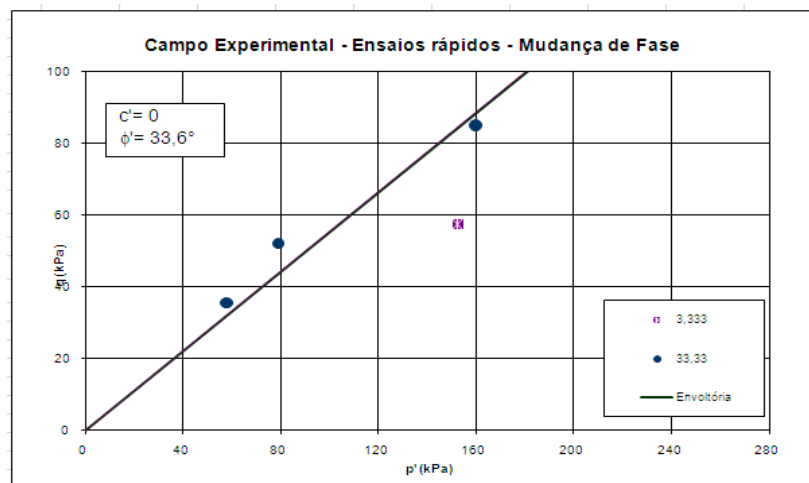


Figura 6.24: Envoltórias de Mudança de Fase para ensaios lentos (a) e rápidos (b) do solo do Campo Experimental

No caso do solo coluvionar de Quitite, observa-se na Figura 6.25, repetir a mesma tendência apresentada nos colúvios do Campo Experimental de não haver diferenças nas envoltórias de resistência.

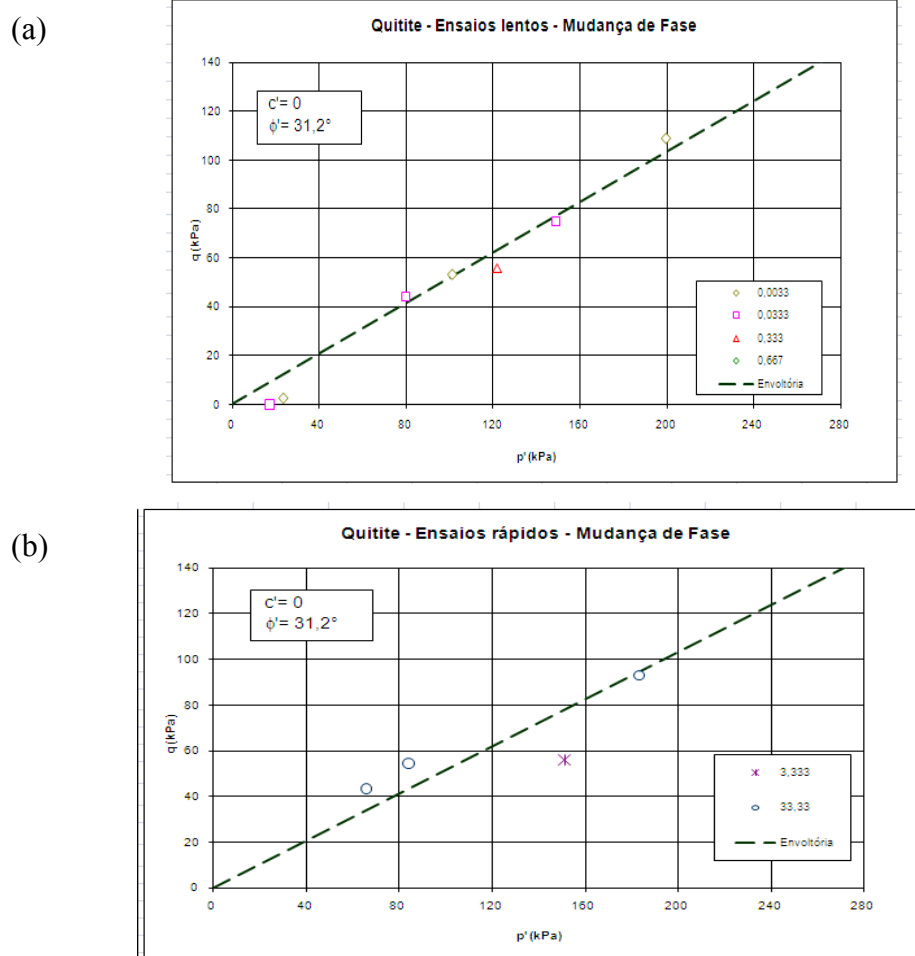


Figura 6.25: Envoltórias de Mudança de Fase para ensaios lentos (a) e rápidos (b) no solo do Quitite

6.3.1.3

Resumo de Parâmetros Obtidos

A relação obtida entre as trajetórias de tensões nos estado de mudança de fase e o estado critico, segue uma única tendência, em adiante considerada uma única linha, como pode ser notada na Tabela 6.12 que apresenta a variação do ângulo de atrito nas três fases em estudo, considerando os ensaios lentos e rápidos.

Tabela 6.12: Parâmetros de Resistência

Fases para Avaliação da Liquefação	Velocidade de Cisalhamento	Campo Experimental		Quitite	
		α	ϕ	α	ϕ
Mudança de Estrutura (ME)	Lentos	24,54	27,16	24,09	26,57
	Rápidos	17,22	18,06	18,28	19,29
Mudança de Fase (MF)		28,98	33,63	27,37	31,17
Estado Crítico (EC) - 15%		29,02	33,69	27,34	31,14

6.4.

Trajetória de Tensões

Com o intuito de identificar as zonas instáveis de liquefação, desenhou-se nas gráficas p' - q para os ensaios lentos e rápidos por separado, indicando a zona instável, definida após da mudança de estrutura. Algumas amostras tendem ao incremento de p' apresentando-se um comportamento dilatante, afastando-se da possibilidade de liquefação. Outras tende a diminuir p' , criando uma condição de possível liquefação, embora o nível de liquefação seja definido quando a tensão efetiva seja próxima a zero.

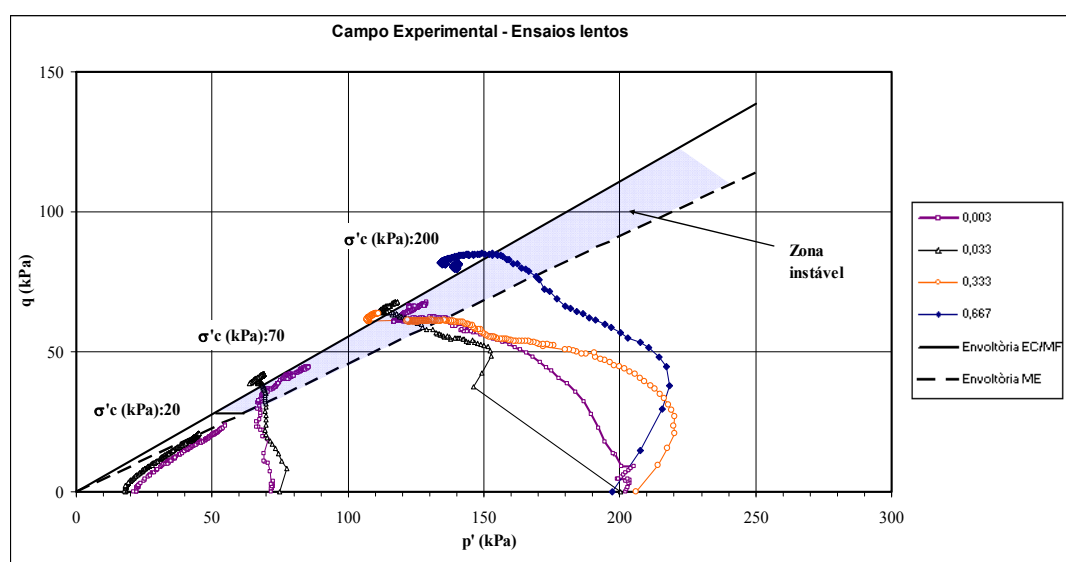


Figura 6.26 Envoltórias de Mudança de Fase para ensaios lentos para os solos do Campo Experimental

Na figura 6.26 são apresentadas as trajetórias de tensões considerando solo os ensaios lentos nos colúvios do Campo Experimental notem-se as trajetórias não seguem

a mesma tendência, devido a influência da tensão de escoamento encontra-se ao redor de 70 kPa, na figura, foram plotados a Envoltória de Mudança de estrutura e a envoltória dos estados críticos (considerou-se todos os ensaios lentos e rápidos).

A zona instável, abrange as tensões confinantes maiores a 70 kPa, note-se que o comportamento é de aumento da resistência, não sendo identificado um potencial de liquefação.

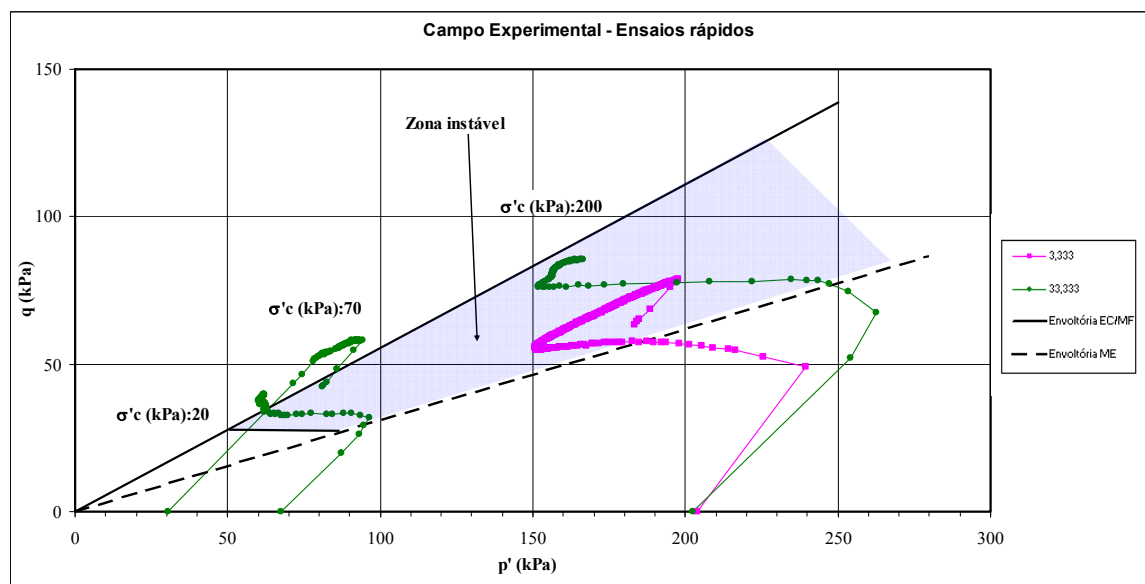


Figura 6.27 Envoltórias de Mudança de Fase para ensaios rápidos para os solos do Campo Experimental

Observaram-se na Figura 6.27 as trajetórias de tensões considerando ensaios rápidos, as trajetórias seguem a mesma tendência dos ensaios lentos, dependentes da tensão de confinamento, a zona instável abarca uma área maior.

Considerando o solo de Quitite, na figura 6.28 pode-se notar que a zona instável é restrita aos solos menos afetados pela estrutura (tensão confinante maior a 70 kPa), para tensões meias, e cisalhados com velocidades lentas, o comportamento é dilatante, sugerindo ganho na resistência não drenada, com tudo, o comportamento é similar ao apresentado na Figura 6.26.

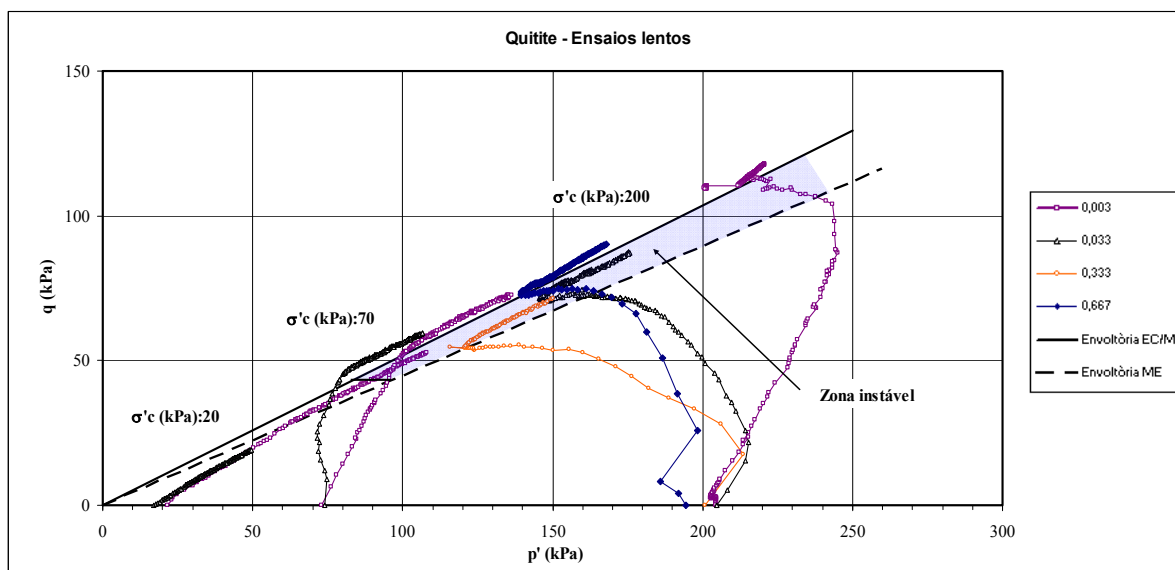


Figura 6.28 Envolvórias para ensaios lentos no solo de Quitite

A seguir, foram avaliados os resultados nos ensaios cisalhados com velocidades rápidas, na figura 6.29, observa-se que a influência da estrutura do solo permanece além da taxa de deformação, sendo considerados condições instáveis a partir da tensão confinante de 70 kPa.

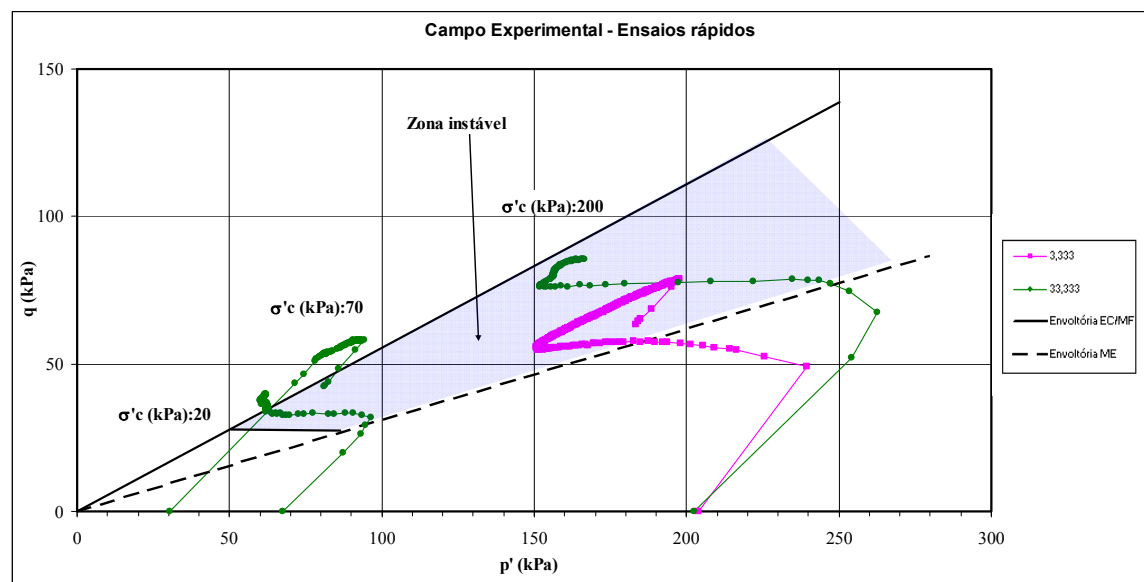


Figura 6.29 Envolvórias para ensaios rápidos no solo de Quitite

Observou-se que nos ensaios rápidos apresentam-se uma maior zona instável, desenvolvendo comportamentos contráteis maiores que os ensaios lentos. Em geral, os ensaios rápidos mostraram ser mais suscetível a liquefação que os ensaios lentos.

Tanto para os dois solos coluvionares estudados, do Campo Experimental e de Quitite (Figuras 6.30, 6.31 e 6.32), observa-se a trajetória de tensões para níveis de confinamento de 20kPa são influenciadas pela estrutura (cimentação) do material natural, permitindo o desenvolvimento de acréscimos de poro-pressões negativas que não induzem à liquefação (Figuras 6.31, 6.32). Já para níveis de confinamento de 70 kPa, a influência da estrutura começa ser afetada, gerando-se incrementos de poro-pressões positivas, que poderiam ocasionar liquefação, dependendo do nível de estes. Nota-se também que nos ensaios lentos desenvolveram com maior facilidade tendência dilatante, afastando-se da possibilidade de liquefação (zona instável), em quanto nos ensaios rápidos apresentaram-se tendência contrátil maior, no qual indica ameaça ao desenvolvimento de liquefação, comparadas com as amostras cisalhadas lentamente. Ao analisar os ensaios com nível de adensamento de 200 kPa, houve tendência contrátil, sendo maior a possibilidade de liquefação, tanto para os ensaios lentos e rápidos.

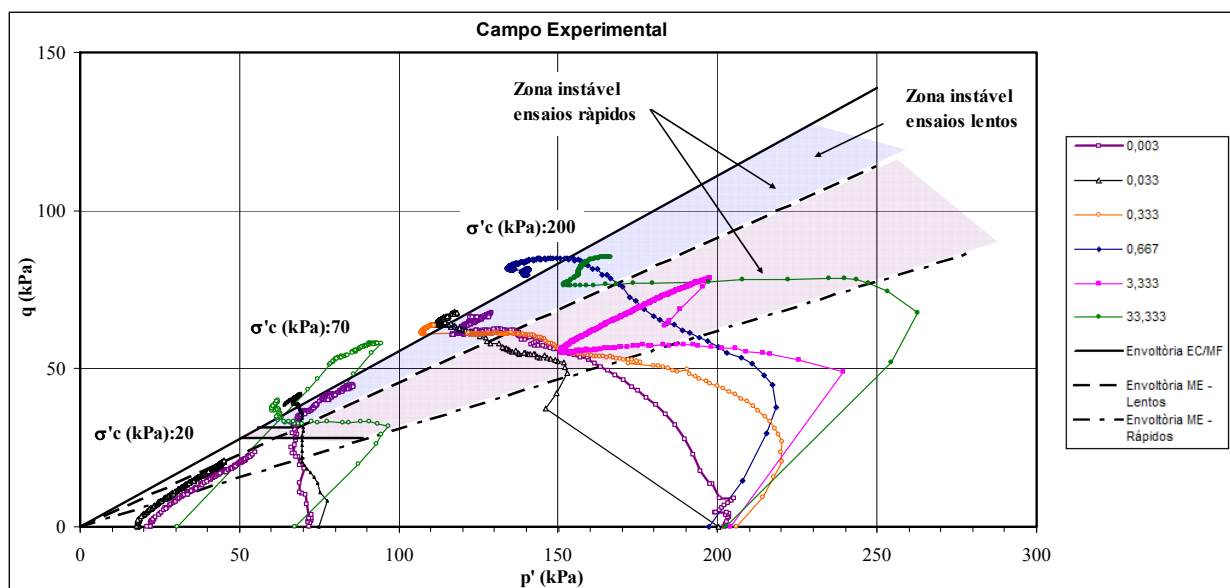


Figura 6.30 Envoltórias das Fases de Liquefação para o solo do Campo Experimental

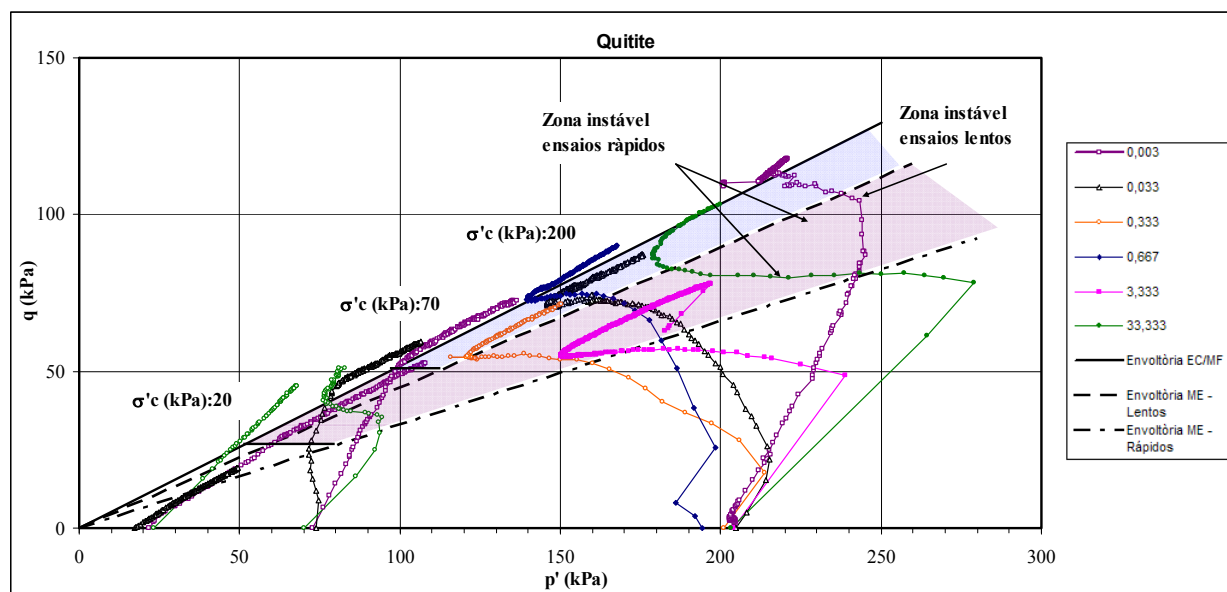


Figura 6.31 Envoltórias das Fases de Liquefação para o solo do Quitite

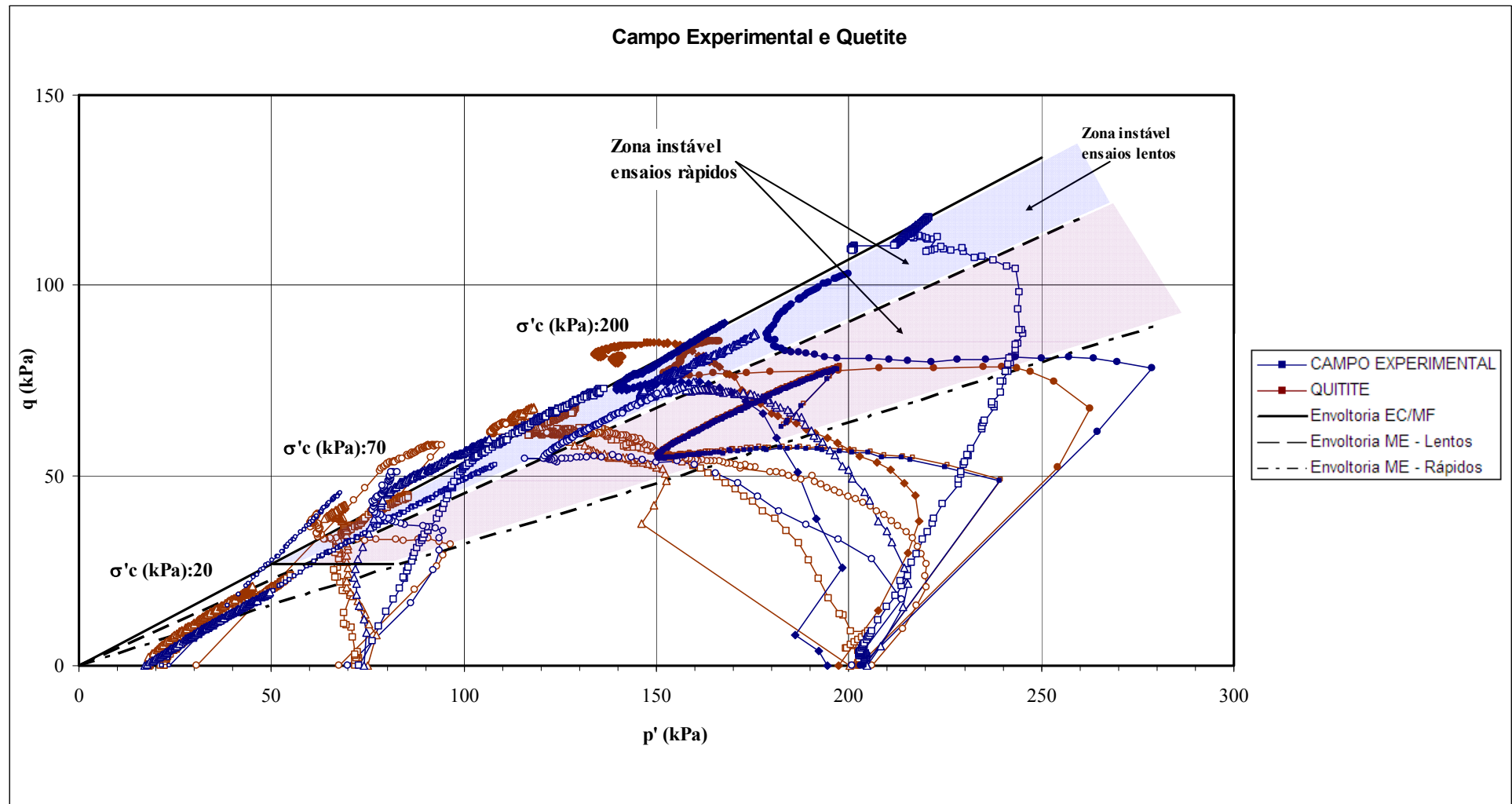


Figura 6.32 Envoltórias das Fases de Liquefação para os solos do Campo Experimental e Quitite

6.5.

Avaliação de liquefação de Acordo com Sandroni & de Campos (1991)

No critério empregado para avaliar o potencial de liquefação proposto por Sandroni e de Campos (1991), observou-se na Tabela 6.13 que não apresentou o fenômeno de liquefação para os diferentes tipos de velocidade de cisalhamento e tensões de confinamentos avaliados.

Tabela 6.13: Avaliação de liquefação proposta de Sandroni & de Campos (1991)

Local	Ensaio	σ'_c (kPa)	Vel mm/min	σ'_{30} (kPa) inicial	Δu (kPa) máximo	σ'_3 (kPa) no Δu máximo
Campo Experimental	E-1	21	0,0033	22,345	1,619	20,726
	E-2	20	0,0333	16,841	0,910	15,931
	E-3	24	33,33	30,487	3,536	26,951
	E-4	71	0,0033	71,783	37,890	33,893
	E-5	70	0,0333	74,912	49,715	25,197
	E-6	68	33,33	67,542	45,415	22,127
	E-7	198	0,0033	19,641	148,722	48,919
	E-8	198	0,033	200,164	153,175	46,988
	E-9	194	0,333	206,057	146,678	59,379
	E-10	198	0,667	201,745	145,323	56,422
	E-11	197	3,333	204,039	109,048	94,992
	E-12	201	33,33	202,525	127,781	74,744
Quitite	E-13	21	0,0033	21,703	0,705	20,998
	E-14	18	0,0333	17,164	0,000	17,164
	E-15	17	33,33	23,403	1,166	22,237
	E-16	71	0,0033	72,882	24,929	47,953
	E-17	71	0,0333	73,926	38,419	35,508
	E-18	67	33,33	69,946	40,591	29,354
	E-19	199	0,0033	199,127	108,187	90,940
	E-20	199	0,0333	204,660	130,759	73,901
	E-21	195	0,333	200,994	134,950	66,045
	E-22	199	0,667	200,495	128,159	72,336
	E-23	197	3,333	204,039	109,048	94,992
	E-24	197	33,33	203,087	113,205	89,883