

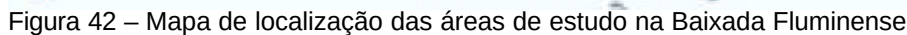
5 Resultados e análises

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos na campanha experimental descrita anteriormente no capítulo 4. Esta campanha de ensaios será denominada de Rio-Polímeros II. Os ensaios anteriormente realizados (relatados no capítulo 3) serão denominados Rio-Polímeros I.

O furo de sondagem do qual foram extraídas as amostras utilizadas para a campanha Rio-Polímeros II localiza-se na área Prédios (Figura 37). As investigações geotécnicas da campanha Rio-Polímeros I incluíram todas as áreas do aterro. Entretanto serão comparados somente resultados relativos à área Prédios.

Em ambas as campanhas experimentais, as amostras foram extraídas com amostradores tipo Shelby e Osterberg, todos com 100 mm de diâmetro. Algumas amostras da campanha Rio-Polímeros I foram extraídas através de cravação à percussão do amostrador Shelby, como já descrito no capítulo 3. Este tipo de cravação ocasiona o amolgamento da argila mole e pode justificar a grande dispersão dos resultados apresentados no capítulo 3.

A Figura 42 mostra a localização da área de estudo do presente trabalho. Na mesma figura também estão apresentadas as localizações de Sarapuí, área de estudo de Ortigão (1980) e Sayão (1980) e subestação de Sarapuí, área de estudo de Garcés (1995). Estes autores serão citados neste capítulo por serem estas áreas de estudo situadas no mesmo depósito (Baixada Fluminense).



5.1.1 Caracterização geotécnica

A curva granulométrica, apresentada na Figura 43, mostra que a amostra Rio-Polímeros II é constituída por 35% de fração argila, 34% por fração silte e 31% por fração areia. A figura ilustra também as faixas granulométricas obtidas por Ortigão (1980) e Garcés (1995) em regiões próximas. Estão reportadas ainda as curvas representativas do peneiramento em algumas amostras avaliadas na campanha Rio-Polímeros I. A Tabela 27 mostra a composição granulométrica, assim como os demais índices físicos obtidos nos ensaios de caracterização.

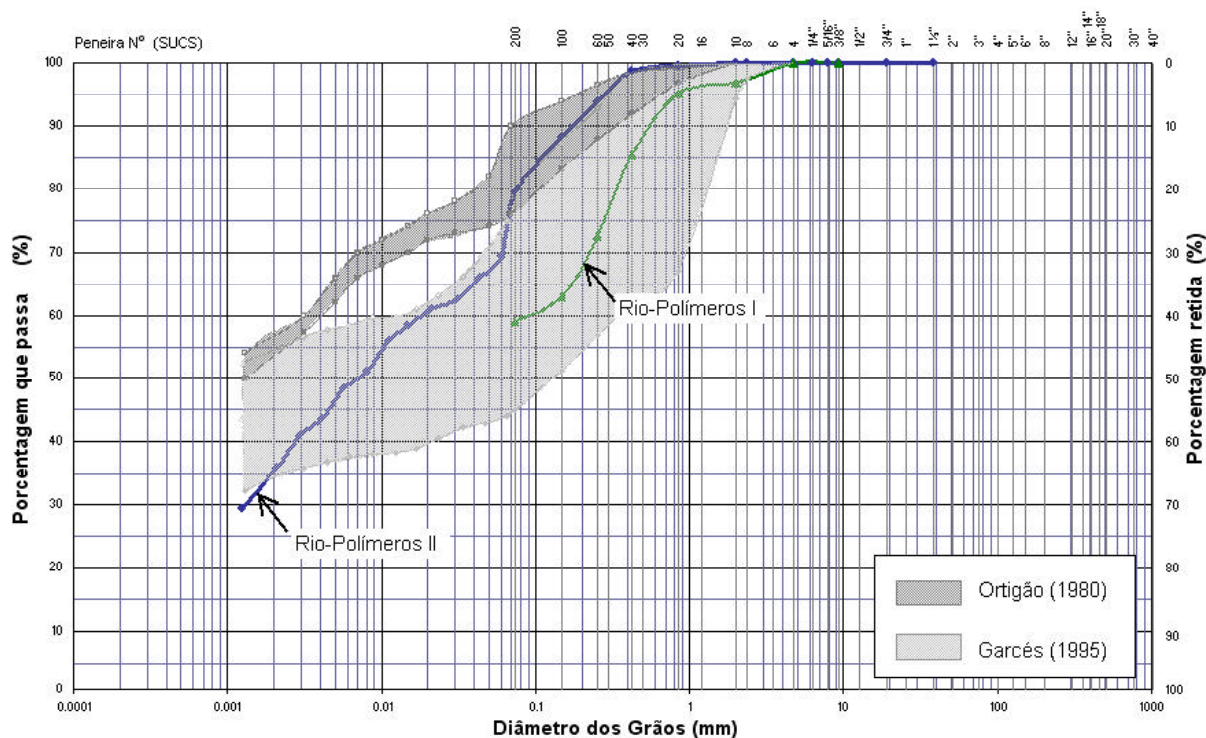


Figura 43 - Curva granulométrica da argila mole

Tabela 27 - Resumo dos ensaios de caracterização (Rio-Polímeros II)

Índice Físico	Valor médio
<i>Granulometria</i>	
<i>Areia Grossa (%)</i>	1
<i>Areia Média (%)</i>	8
<i>Areia Fina (%)</i>	22
<i>Silte (%)</i>	34
<i>Argila (%)</i>	35
<i>Densidade dos Grãos (Gs)</i>	2,66
<i>Índices de Consistência</i>	
<i>Limite de Liquidez (%)</i>	113,7
<i>Limite de Plasticidade (%)</i>	28,7
<i>Índice de Plasticidade (%)</i>	85,0

Segundo o Sistema Unificado de Classificação, o solo do local da Rio-Polímeros I, na Baixada Fluminense, pode ser classificado como argila de alta plasticidade (CH).

Ensaio preliminares indicaram porcentagens de argila muito inferiores às esperadas para o local. Este resultado foi atribuído ao defloculante, reforçando a sua influência no processo de sedimentação.

A Tabela 28 mostra o resumo dos índices físicos dos corpos de prova indeformados utilizados nos ensaios de adensamento e triaxiais (campanha Rio-Polímeros II). Pode-se notar que o teor de umidade médio é da ordem de 106,7%, valor próximo ao limite de liquidez ($LL = 113,7\%$). O índice de vazios médio é de 2,92 e o solo encontra-se praticamente saturado ($S = 97,5\%$).

Tabela 28 – Características iniciais dos corpos de prova

Ensaio n ^o	prof. (m)	w _o (%)	e _o	S _o (%)
SIC-01	3,20	113,50	3,18	95,2
SIC-02	3,25	128,70	3,32	103,3
CRS-01	3,15	133,87	3,55	100,7
CRS-02	3,00	122,34	3,30	98,7
CRS-03	4,50	74,90	1,94	102,9
CRS-04	4,50	90,01	2,40	99,7
CRS-05	4,10	99,57	2,70	98,4
CID-01	3,70	115,70	3,31	93,3
CID-02	3,70	111,21	3,16	93,9
CID-03	3,80	103,07	2,85	96,5
CIU-04	3,05	131,77	3,70	94,9
CIU-05	3,80	99,62	2,75	96,3
CIU-06	3,90	104,02	2,99	92,6
UU-01	4,50	81,64	2,29	94,8
UU-02	4,50	90,91	2,38	101,6
MÉDIA	-	106,70	2,92	97,5

Nas Figura 44 e Figura 45 estão apresentados os valores dos limites de Atterberg obtidos em ambas as campanhas experimentais, bem como os encontrados na literatura. Nestas figuras, os materiais representados por símbolos vazados representam ensaios realizados com secagem prévia do material, como recomenda a Norma Brasileira. Os demais correspondem a ensaios realizados na umidade natural.

Ortigão (1975) estudou a influência da secagem ao ar nos limites de liquidez e plasticidade da argila mole de Sarapuí. O valor do limite de liquidez obtido nos ensaios com a umidade natural foi bem maior. Já na determinação do limite de plasticidade, a influência da secagem ao ar é pequena.

Pinheiro (1980) relata comparações com ambos os métodos em amostras de argila mole da região de Itaipu, Niterói. Os valores do limite de liquidez obtidos com secagem prévia apresentam uma redução de até 3 vezes em relação aos valores obtidos a partir da umidade natural.

Ribeiro (1992) também observou que o limite de liquidez com secagem prévia da argila mole de Sergipe é bem inferior ao obtido com a umidade natural. Entretanto, os valores de limite de plasticidade não apresentam diferenças significativas entre ambas as metodologias.

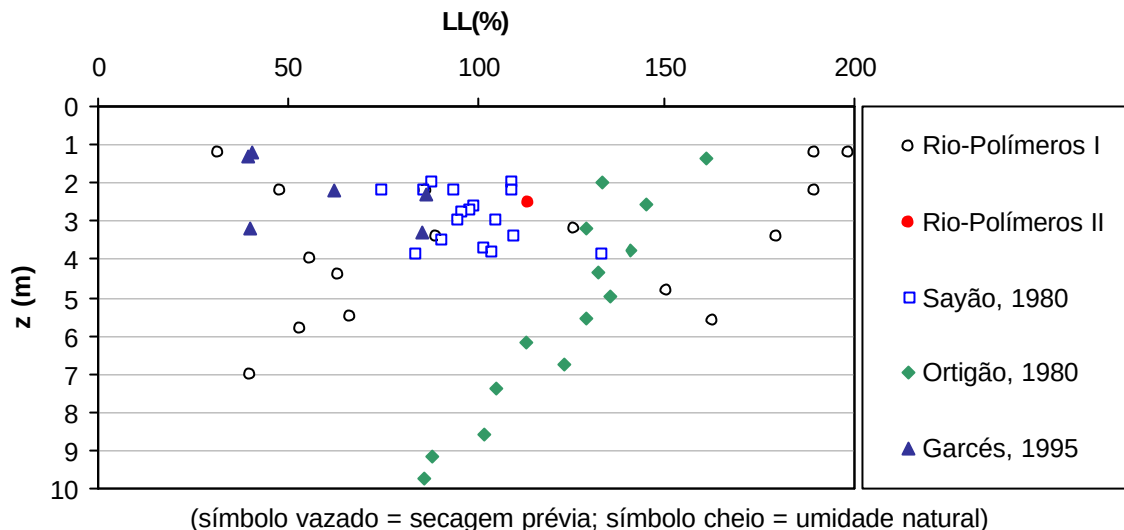


Figura 44 - Valores do limite de liquidez para a argila do Rio de Janeiro

Na presente campanha (Rio-Polímeros II), o único ensaio realizado encontra-se numa posição intermediária com relação aos valores obtidos na subestação de Sarapuí (Garcés, 1995) e os obtidos no Aterro Experimental I de Sarapuí (Ortigão, 1980). Na campanha experimental Rio-Polímeros I, os valores obtidos mostraram-se bastante dispersos. Ainda assim, a média fica bastante próxima à obtida por Sayão (1980). De maneira geral, o conjunto de resultados mostra claramente a tendência dos ensaios com secagem prévia corresponderem a valores de LL mais baixos.

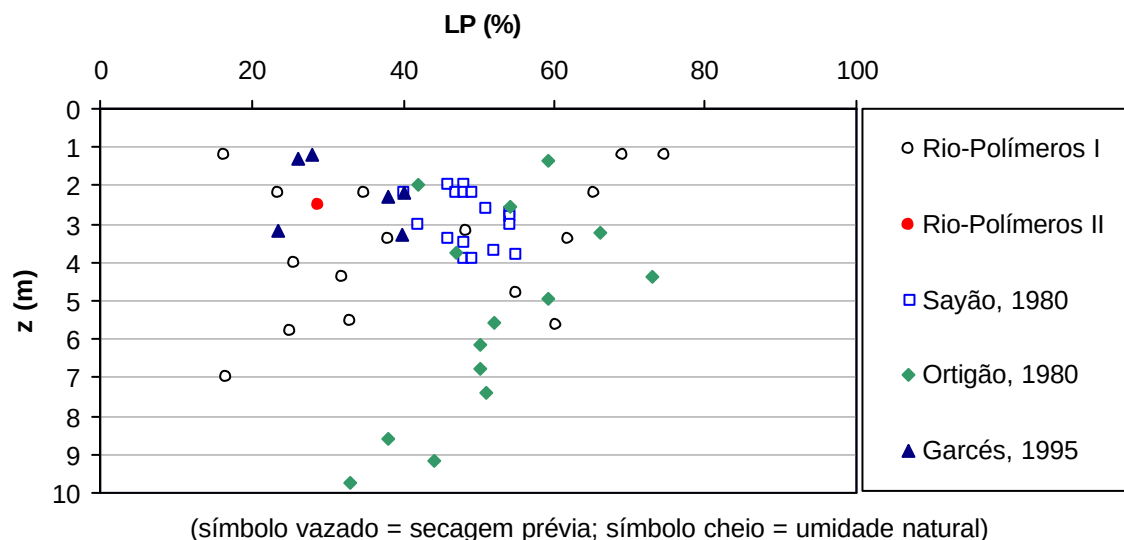


Figura 45 - Valores do limite de plasticidade para a argila do Rio de Janeiro

Na Figura 45 percebe-se que o resultado de LP obtido na campanha Rio-Polímeros II aproxima-se dos valores obtidos na subestação de Sarapuí (Garcés, 1995). Os resultados de Sarapuí (Sayão, 1980) e (Ortigão, 1980) apresentam valores superiores. Mais uma vez, os valores obtidos na campanha Rio-Polímeros I mostram-se bastante dispersos.

A partir da observação de valores baixos de Limites de Atterberg nos resultados obtidos na campanha experimental Rio-Polímeros I, pode-se indicar a presença de uma lente de material mais arenoso. Esta indicação não foi confirmada nos boletins de sondagem, que classifica o material como argila mole. Valores baixos de Limites de Atterberg não são usuais em depósitos argilosos litorâneos.

A argila mole estudada na campanha Rio-Polímeros II apresenta um valor de atividade de $I_a = 2,43$, típico de argilas ativas (Skempton, 1953). Este valor é bastante elevado, quando comparado aos resultados de outras campanhas próximas à obra da Rio-Polímeros. Acredita-se que isto tenha sido devido a problemas com o defloculante utilizado na sedimentação, resultando em uma baixa porcentagem de argila.

Para a argila mole da escavação experimental do Sarapuí, obteve-se um valor de $I_a = 0,6$ (Sayão, 1980), típico de argilas inativas. Cabe lembrar que, neste caso, os limites foram obtidos com secagem prévia do material, o que reduz o valor de IP. Para a argila mole da subestação de Sarapuí, obteve-se um valor de $I_a = 0,88$ (Garcés, 1995), correspondente a uma argila normal. Para a argila mole do Aterro Experimental I de Sarapuí, obteve-se um valor de $I_a = 1,55$ (Ortigão, 1980), sendo neste caso a argila classificada como ativa.

Tabela 29 - Atividade da argila mole da Baixada Fluminense

Atividade da argila (I_a)	Classificação	Local	Fonte
2,43	Ativa	Rio-Polímeros	presente trabalho
0,60	Inativa	Escavação experimental - Sarapuí	Sayão (1980)
0,88	Normal	Sub-estação - Sarapuí	Garcés (1995)
1,55	Ativa	Aterro experimental - Sarapuí	Ortigão (1980)

5.2

Composição mineralógica

A Figura 46 mostra o ângulo (2θ) de refração dos raios-X, em função da intensidade da refração, obtido nos ensaios das amostras normal (não glicolada), glicolada e aquecida. As setas indicam os picos correspondentes a distâncias interplanares de argilominerais.

O gráfico de difratometria serve para identificar o tipo de argilomineral presente no solo. Observa-se que, quanto maior for o número de argilominerais na amostra, maior deve ser a dificuldade de classificação, uma vez que um mesmo pico pode representar mais de um argilomineral.

Na Figura 46, pode-se observar dois picos bem nítidos indicativos de caulinita, para $d = 7,14 \text{ \AA}$ e $d = 3,57 \text{ \AA}$. As bandas (picos mais achatados) presentes no trecho inicial do gráfico podem ser indicativas da presença de esmectita ou de vermiculita. Os demais picos têm menor importância e não revelam uma presença significativa de outros argilominerais.

O gráfico do ensaio com a lâmina aquecida apresentou um resultado similar ao do ensaio realizado com a lâmina normal. Ambos apresentaram os picos representativos da caulinita e um pico com distância interplanar basal de aproximadamente $10 \text{ \AA}$. Este pico pode estar representando dois tipos de argilomineral. Na amostra aquecida, não se pode ter certeza se o pico de $d = 10 \text{ \AA}$ representa illita ou esmectita. Na comparação com a amostra normal, percebe-se a presença da banda com $d = 14,98 \text{ \AA}$ e a permanência de um pico com $d = 10 \text{ \AA}$, aproximadamente. Assim confirma-se a existência do argilomineral illita, ficando porém a dúvida se a banda está representando esmectita ou vermiculita.

No gráfico do ensaio na lâmina glicolada, comparado ao ensaio na lâmina normal, observa-se que os picos representativos da caulinita e da illita são confirmados. A banda presente no trecho inicial do gráfico desloca-se para a esquerda quando se compara o resultado glicolado em relação ao normal. Assim o valor da distância interplanar basal aumenta de $d = 13,98 \text{ \AA}$ para $d = 17,26 \text{ \AA}$. Este comportamento corresponde ao argilomineral esmectita, que sofre inchamento quando submetido ao processo de glicolagem.

Com este resultado, pode-se concluir que os argilominerais presentes são caulinita, esmectita e illita.

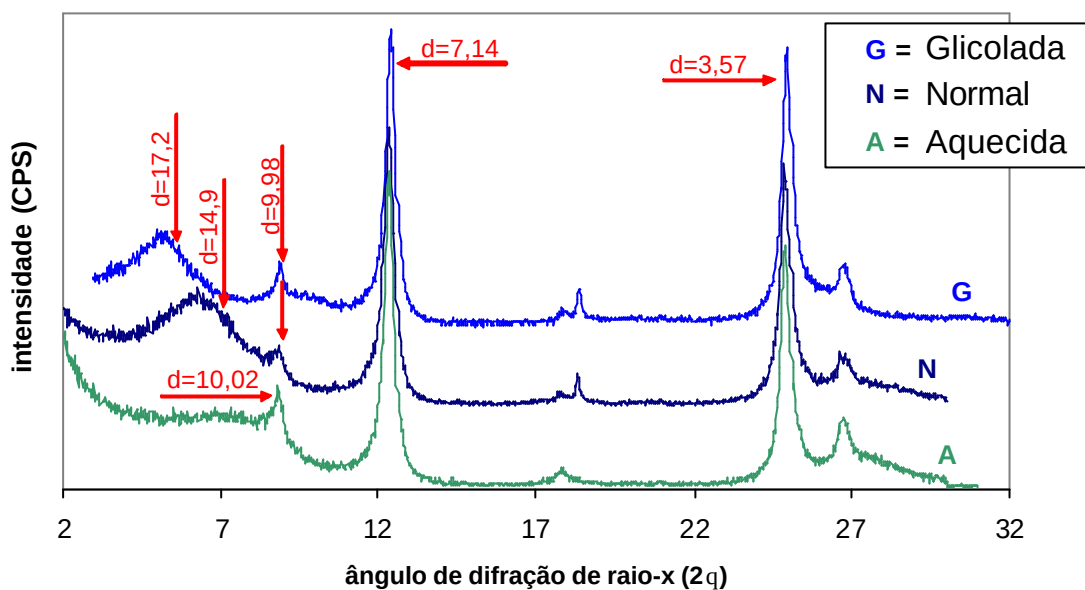


Figura 46 – Difração de Raio-X

5.2.1

Análises físico-químicas: matéria orgânica e pH

O teor de matéria orgânica (M.O.) foi estimado pelo método da perda de peso por aquecimento (P.P.A). Das quinze determinações realizadas, obteve-se um valor médio de P.P.A. = 6,6%, com desvio padrão de 1,0%.

A Tabela 30 mostra um resumo dos resultados reportados por outros autores em depósitos próximos à Rio-Polímeros. Em alguns casos, foi utilizado o método da titulação rápida. Neste método, é feita a determinação do carbono orgânico por oxidação da matéria orgânica. Nos outros dois casos, utilizou-se o método da P.P.A.

Tabela 30 - Teor de matéria orgânica da argila mole da Baixada Fluminense

Local	Titulação Rápida			Perda por Aquecimento			Referência
	Média (%)	Desvio Padrão	Nº Determ.	Média (%)	Desvio Padrão	Nº Determ.	
Sarapuí	4 a 6	-	-	-	-	-	Antunes 1978
Sarapuí	-	-	-	11,8	0,3	10	Sayão 1980
Sarapuí	8,8	33,3	6	-	-	-	Garcés 1995
Rio-Polímeros I	10,0	-	-	-	-	-	presente trabalho
Rio-Polímeros II	-	-	-	6,6	1,0	15	presente trabalho

O ensaio realizado para a determinação do pH na campanha Rio-Polímeros II resultou em um valor igual a 6,82. Este resultado concorda com a campanha experimental Rio-Polímeros I (pH = 6,78). Desta forma, o material é classificado como neutro (Tabela 4).

5.3
Adensamento

5.3.1
Velocidade de deformação

Ensaios CRS

A velocidade de deformação nos ensaios CRS foi estudada a partir da variação da razão de poropressão (u_b/σ_v) gerada nos corpos de prova. Tabela 31 resume os valores das velocidades adotadas para este estudo. Na Figura 47 estão plotadas as curvas da razão de poropressão em função da tensão efetiva. Como já esperado, os ensaios mais lentos geram menores excessos de poropressão, garantindo maior uniformidade no interior do corpo de prova.

Tabela 31 - Velocidades dos ensaios CRS

Ensaio nº	CRS-01	CRS-02	CRS-03	CRS-04	CRS-05
Velocidade (mm/min)	0,082	0,035	0,007	0,007	0,002
Velocidade deformação (s ⁻¹)	$6,8 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-5}$	$0,58 \times 10^{-5}$	$0,58 \times 10^{-5}$	$0,17 \times 10^{-5}$

Nota: o ensaio CRS-04 foi realizado com amostra amolgada

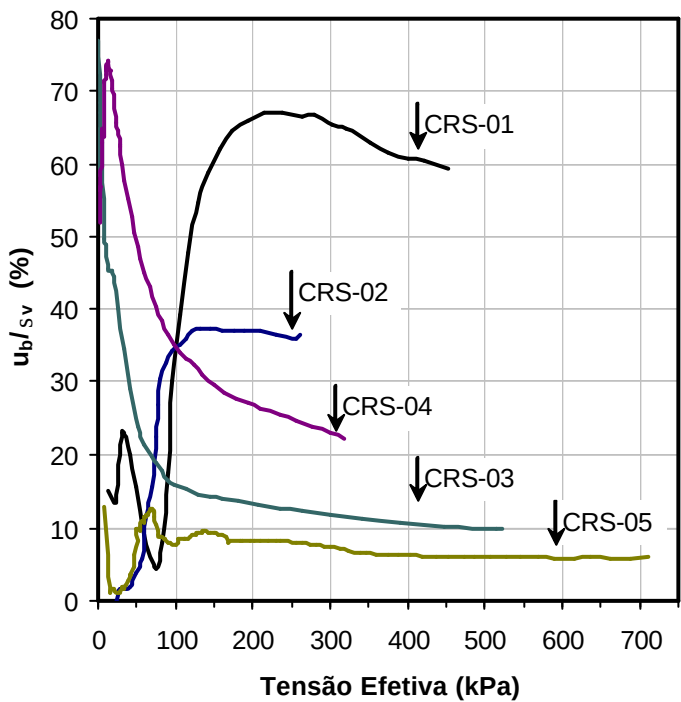


Figura 47 - Valores da razão de poropressão nos ensaios CRS

Vários autores sugerem limites diferentes para que o valor da razão de poropressão (u_b / σ_v) seja considerado aceitável em um ensaio CRS. Dentre estas sugestões, ressalta-se a norma ASTM (1982), que recomenda um valor de u_b / σ_v entre 3 e 20%. Carvalho (1993) sugere que u_b / σ_v pode situar-se entre 10 e 40%. Outros ainda admitem valores mais elevados para u_b / σ_v (Tabela 6). Já Wissa et al. (1971) sugerem que o valor de u_b / σ_v não seja superior a 5%.

O ensaio CRS-05, realizado com velocidade de deformação igual a 0,002 mm/min, enquadra-se melhor nos padrões definidos como aceitáveis para a razão de poropressão, apresentando um valor de $u_b / \sigma_v = 7\%$.

Nota-se que a razão u_b / σ_v no trecho inicial do ensaio varia consideravelmente, porque a poropressão na base (u_b) é muito pequena para valores de σ'_v abaixo da tensão de pré-adensamento. Uma vez ultrapassada a tensão de pré-adensamento, tanto u_b quanto σ'_v experimentam um aumento acentuado, tornando a razão u_b / σ_v virtualmente constante. Este comportamento também foi observado por Carvalho et al. (1993).

Os ensaios CRS-03 e CRS-04 foram realizados na mesma velocidade. Entretanto, o resultado do ensaio CRS-04 foi obtido em amostra previamente amolgada. Os resultados mostram para o ensaio com material amolgado uma maior geração de poropressão.

Ensaio SIC

Com o objetivo de comparar os resultados dos ensaios CRS com os ensaios SIC, tentou-se estimar uma velocidade de deformação para os ensaios convencionais de adensamento. Esta estimativa foi feita para cada estágio do ensaio, ou seja, para os diferentes níveis de tensão efetiva. Outra variável estudada foi a porcentagem de deformação atingida em um intervalo de tempo.

Desta forma, para cada estágio, foram obtidas duas velocidades distintas, v_{100} e v_f . Cada uma delas é representativa de um determinado intervalo de tempo: t_{100} e tempo total de duração do estágio (tempo de 24 horas).

A Tabela 32 resume os valores de velocidade, obtidos em mm/min. É difícil definir qual desses momentos seria melhor comparável com o ensaio CRS, já que este é contínuo e não fornece grandezas em função da porcentagem de adensamento. Na Figura 48 pode-se observar que o valor da velocidade sofre variações menos acentuadas na região normalmente adensada ($\sigma_{vm} > 35\text{kPa}$).

Tabela 32 - Velocidades dos ensaios SIC

	s'_{med} (kPa)	v_{100} v_f (24 h) (mm/min)	
Estágio 2	7,5	0,0013	0,0001
Estágio 3	15	0,0007	0,0001
Estágio 4	30	0,0008	0,0006
Estágio 5	60	0,0029	0,0024
Estágio 6	120	0,0023	0,0016
Estágio 7	240	0,0022	0,0013

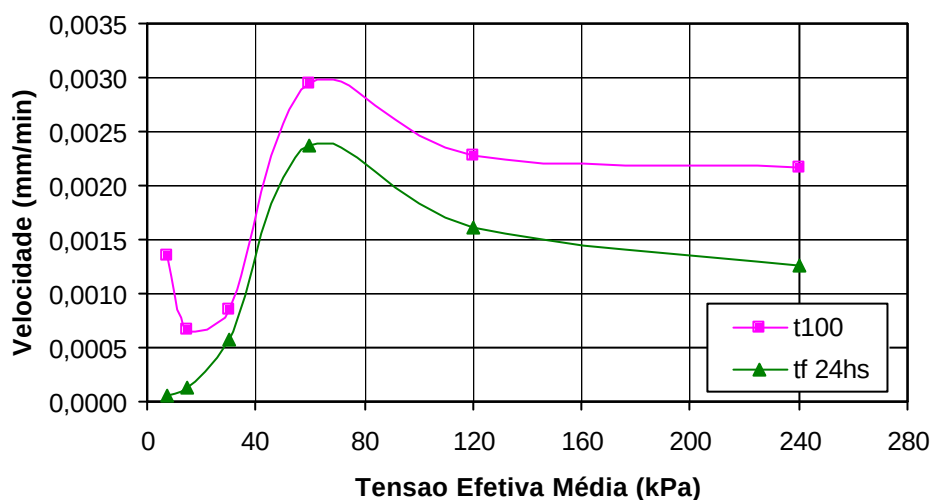


Figura 48 – Valores da velocidade de deformação em ensaios SIC

5.3.2 História de tensões

A Figura 49 mostra as curvas de índice de vazios, normalizado pelo índice de vazios inicial, em função da tensão vertical efetiva dos ensaios SIC realizados na campanha Rio-Polímeros II. Os gráficos mostram que, em ambos os ensaios, a tensão efetiva de pré-adensamento (σ'_{vm}) é da ordem de 35 kPa, calculada pelo método de Casagrande.

No campo, a tensão vertical efetiva na profundidade de 3,20m é estimada em cerca de 25kPa, indicando um leve pré-adensamento da camada ($OCR = 1,4$).

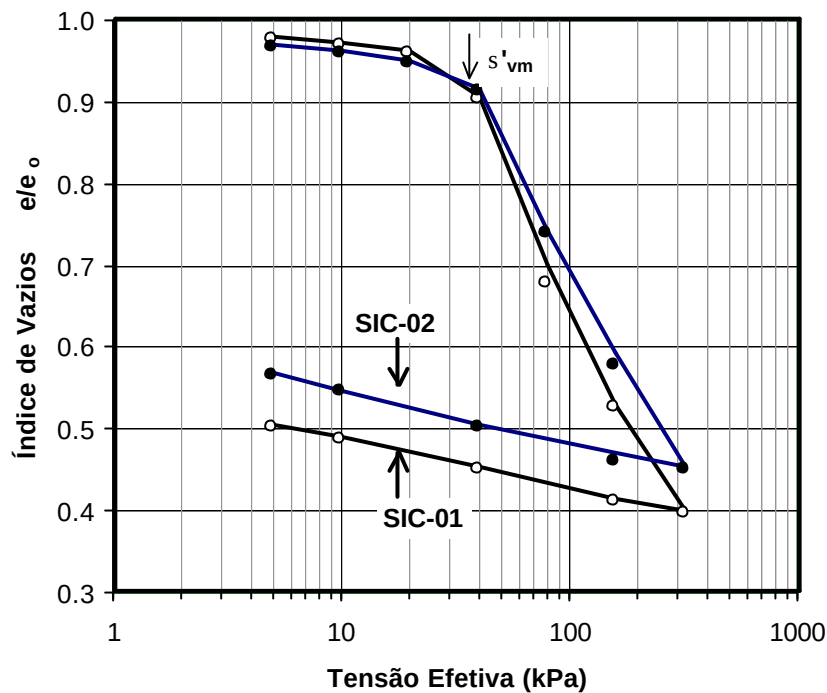


Figura 49 – Variação do índice de vazios com a tensão efetiva - Ensaios SIC

Na Figura 50, estão apresentadas as curvas do índice de vazios com a tensão efetiva para os ensaios CRS, em conjunto com o ensaio de adensamento convencional SIC-01

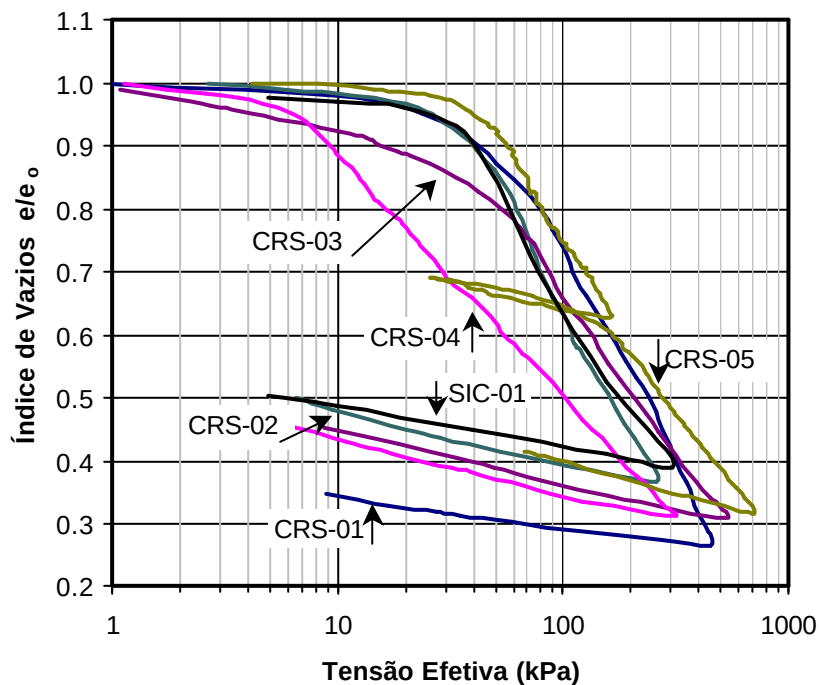


Figura 50 - Efeito da variação da velocidade de deformação no ensaio CRS

Os resultados mostram que a curva do ensaio CRS-03 sugere um leve amolgamento, evidenciado pela suavização da curva no trecho inicial. A partir da tensão efetiva de 100kPa o resultado do ensaio se mostra mais coerente com os

demaís. Ainda assim o valor da tensão de pré-adensamento estimado para este ensaio não foi muito diferente do obtido para os demais.

Na Tabela 33 estão apresentados os valores da tensão de pré-adensamento e OCR dos ensaios de adensamento convencional (SIC) e de deformação controlada (CRS) realizados na campanha experimental Rio-Polímeros II. Adicionalmente estão incluídas as velocidades associadas a cada ensaio.

Tabela 33 – Valores de tensão de pré-adensamento e OCR

Ensaio nº	σ_{vm} (kPa)	OCR	Velocidade (mm/min)
SIC-01	35	1,40	0,002
SIC-02	35	1,40	0,002
CRS-01	55	2,20	0,082
CRS-02	38	1,52	0,035
CRS-03	40	1,25	0,007
CRS-04	7	0,22	0,007
CRS-05	42	1,47	0,002

Os resultados indicam um leve pré-adensamento, com valores de OCR variando de 1,3 a 2,2, a partir de amostras consideradas de boa qualidade.

As diferenças nos valores de OCR dos ensaios CRS podem ser atribuídas às diferentes velocidades de deformação. Esta influência, entretanto, só foi significativa no ensaio mais rápido (CRS-01), pois os demais fornecem OCR aproximadamente igual a 1,5.

O amolgamento da amostra (CRS-04) acarreta em uma redução significativa no valor de OCR.

A velocidade de deformação estimada para o ensaio SIC (conforme descrito anteriormente) apresentou valor aproximado à velocidade do ensaio CRS-05. Assim, fica possível avaliar os resultados dos ensaios CRS frente aos resultados dos SIC. Neste caso, analisando os valores de OCR, percebe-se que o ensaio CRS mais lento (CRS-05) tem valor mais próximo ao encontrado nos ensaios SIC (1,47 e 1,40 respectivamente).

A Figura 51 compara os valores de OCR encontrados nas duas campanhas (Rio-Polímeros I e II) juntamente com valores obtidos na literatura. Percebe-se que os valores obtidos na campanha Rio-Polímeros I estão um pouco mais dispersos que os demais, ficando estes valores acima daqueles encontrados por Ortigão (1980). Já os valores da campanha Rio-Polímeros II

ficam abaixo da tendência dada pelos resultados de Ortigão (1980). Nesta figura não foi incluído o resultado do ensaio CRS-04, pois o material utilizado neste ensaio (material amolgado) é considerado um material diferente do aí analisado.

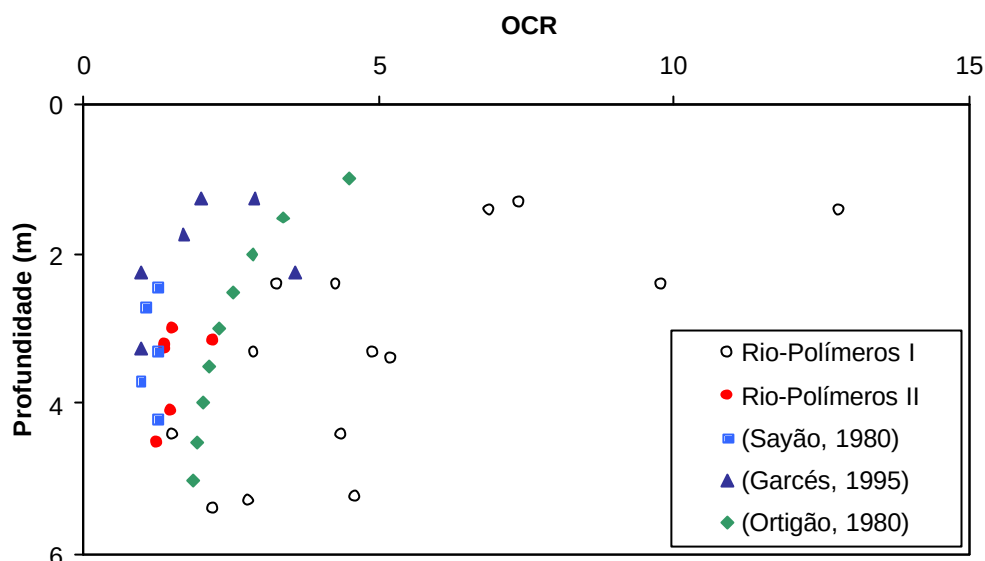


Figura 51 - Valores do OCR para a argila do Rio de Janeiro

5.3.3 Índices de compressibilidade

A Tabela 34 mostra os valores de índice de recompressão (c_r), índice de compressão (c_c) e índice de descompressão (c_s) obtidos das curvas dos ensaios realizados na campanha experimental Rio-Polímeros II.

Tabela 34 - Valores dos índices c_r , c_s e c_c

Ensaio n ^o	c_r , c_s	c_c
SIC-01	0,20	1,94
SIC-02	0,22	1,83
CRS-01	0,18	2,41
CRS-02	0,29	2,27
CRS-03	0,16	0,93
CRS-04	0,20	0,86
CRS-05	0,28	1,51

Numa tentativa de avaliar a influência da velocidade de deformação nos valores dos índices de compressibilidade, foram plotados os valores de c_r , c_s e c_c em função das velocidades de deformação.

Nas Figura 52, observa-se que os resultados de CRS sugerem uma tendência de apresentar valores mais baixos de c_r e c_s para maiores velocidades de deformação. Nota-se, também, que o valor de c_r resultante do ensaio CRS-03

(com $v = 0,007$ mm/min) é inferior aos demais. Conforme observado anteriormente (Figura 50), há indícios de amolgamento da amostra utilizada neste ensaio. Este indício mais uma vez se confirma pelo resultado similar ao do ensaio CRS-04, este sim, amolgado. Os valores resultantes dos ensaios SIC tendem a ser inferiores aos do CRS. Cabe lembrar que pode haver imprecisões na definição da velocidade de deformação dos ensaios SIC, visto que foram adotados valores médios e conseqüentemente considerada válida a hipótese de velocidade constante para todo estágio.

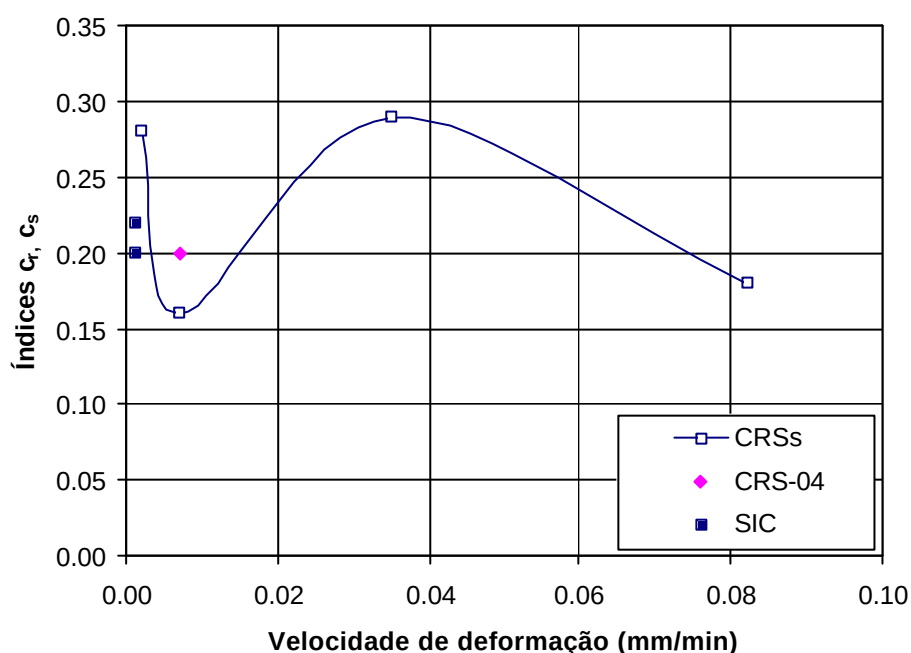


Figura 52 – Variação de c_r e c_s em função da velocidade de deformação

Na Figura 53, observa-se que os resultados de CRS sugerem uma pequena tendência de apresentar maiores valores de c_c para maiores velocidades de deformação. Mais uma vez os resultados dos ensaios CRS-03 e CRS-04 repetem o mesmo comportamento associado à condição de amolgamento. Os valores dos ensaios SIC foram plotados em função da média das velocidades dos estágios 4 a 7 e são ligeiramente superiores aos CRS.

Os resultados dos índices c_r , c_c e c_s correspondentes respectivamente aos trechos de recompressão, compressão virgem e expansão da curva $\epsilon_v \times \log \sigma'_v$ estão reproduzidos nas Figura 54 e Figura 55, em conjunto com resultados publicados na literatura.

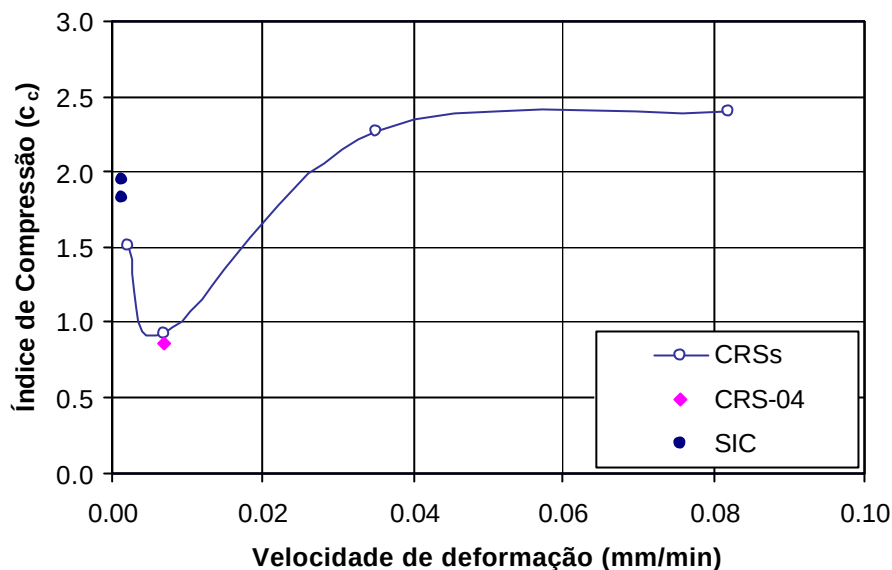


Figura 53 – Variação do c_c em função da velocidade de deformação

Na Figura 54 pode-se perceber que os resultados obtidos na campanha experimental Rio-Polímeros I apresentam-se um dispersos, com valores entre 0,014 a 0,294, todos abaixo dos resultados relatados por Ortigão (1980) para a argila de Sarapuí. Os dados relatados por Sayão (1980) apresentam alguma dispersão nos resultados da argila mole da escavação experimental do Sarapuí, ficando ainda com valores acima dos apresentados por Garcés (1995).

Os valores obtidos na campanha experimental Rio-Polímeros II apresentam-se concordantes com os relatados por Sayão (1980) e com os valores mais altos obtidos na campanha Rio-Polímeros I. Ainda assim, ficam acima dos valores de Garcés (1995) e abaixo dos valores de Ortigão (1980).

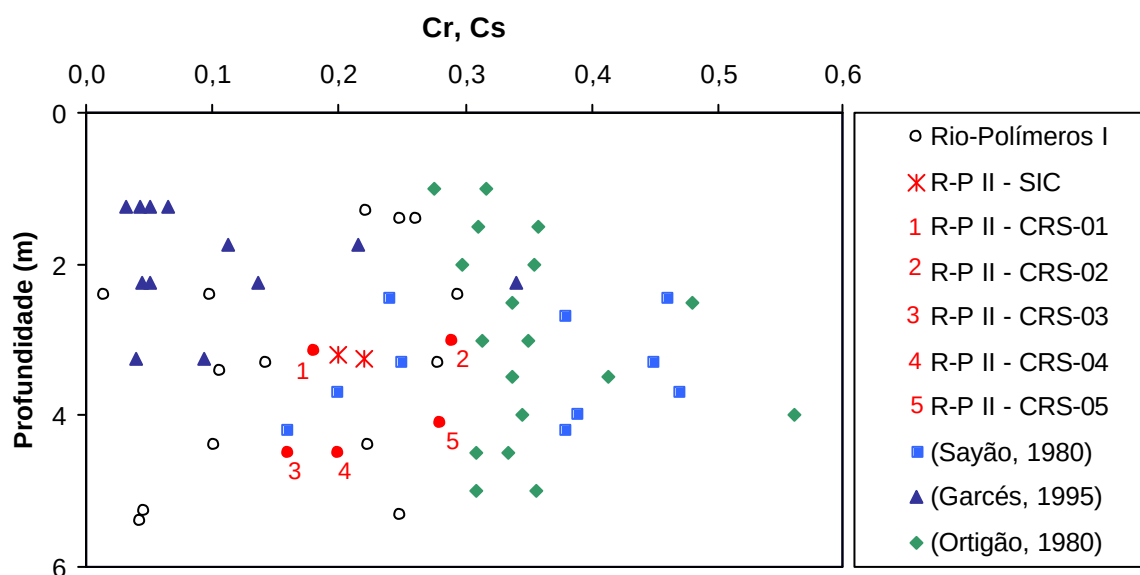


Figura 54 - Valores do c_s para a argila do Rio de Janeiro

Os valores do índice de compressão c_c , obtidos na campanha Rio-Polímeros II para o material indeformado, apresentaram uma variação entre 0,93 e 2,41. Na amostra deformada, o valor de c_c foi um pouco mais baixo da ordem de 0,86.

Os resultados apresentados na Figura 55 mostram grande dispersão nos valores reportados na campanha Rio-Polímeros I. Os resultados relatados por Ortigão (1980) para a argila do Aterro Experimental I (Sarapuí) estão dispostos em uma faixa de valores cerca de 4 vezes mais altos do que os apresentados por Garcés (1995). Os resultados obtidos na campanha Rio-Polímeros II e por Sayão (1980) para a argila de Sarapuí concentram-se numa faixa de valores entre 1,50 e 2,50 concordantes com os valores de Ortigão (1980).

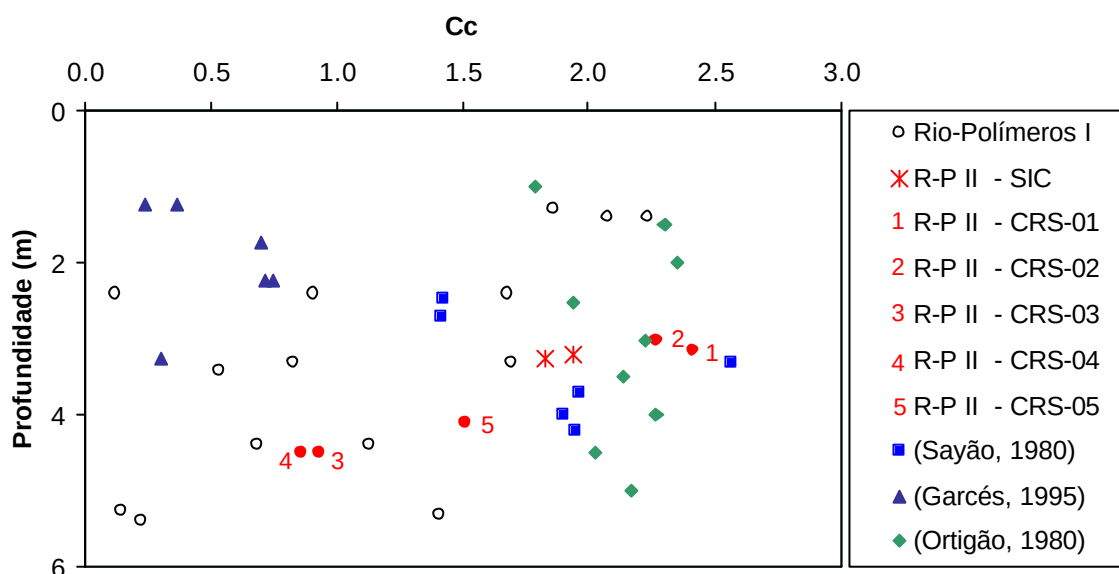


Figura 55 - Valores do c_c para a argila do Rio de Janeiro

Nota-se também que os valores obtidos nos ensaios CRS-04 e CRS-03 apresentam valores mais baixos, sendo estes ensaios, respectivamente o ensaio amolgado e o ensaio que apresentou um leve amolgamento.

Compressão secundária

Causas para a ocorrência das deformações secundárias, mesmo após encerrado o processo de dissipação de poropressões, ainda não foram bem determinadas. Ladd (1971) afirma que, na prática, pode-se simplificadamente considerar que o valor do coeficiente de compressão secundária (c_{α}) é independente do tempo, da espessura da camada, da razão de incremento de carga ($\Delta\sigma_v/\sigma_v$) e do nível de tensões (em argilas moles com c_c constante).

Conforme já se pôde observar (Figura 49), os resultados obtidos pelos ensaios SIC-01 e SIC-02 são praticamente iguais. Para a análise de alguns parâmetros serão então considerados os resultados do ensaio SIC-01, como representativos dos ensaios SIC realizados. A Figura 56 mostra a curva de variação do índice de vazios em função do tempo, para o último estágio de carregamento (320kPa) do ensaio SIC-01.

Neste estágio, a amostra foi mantida sob carga constante por um período de 96 horas. Admitindo que as fases de adensamento primário e secundário ocorram em seqüência, estima-se sejam necessárias 1,67 horas (t_{100}) para a dissipação dos excessos de poro pressão gerados na etapa do adensamento primário. Com isto estima-se um coeficiente de compressão secundária igual a 0,06. Este valor concorda com a faixa de valores sugerida por Ladd (1971), que indica que o coeficiente de compressão secundária deve apresentar um valor entre 0,065 e 0,100 para solos com características da argila do Sarapuí.

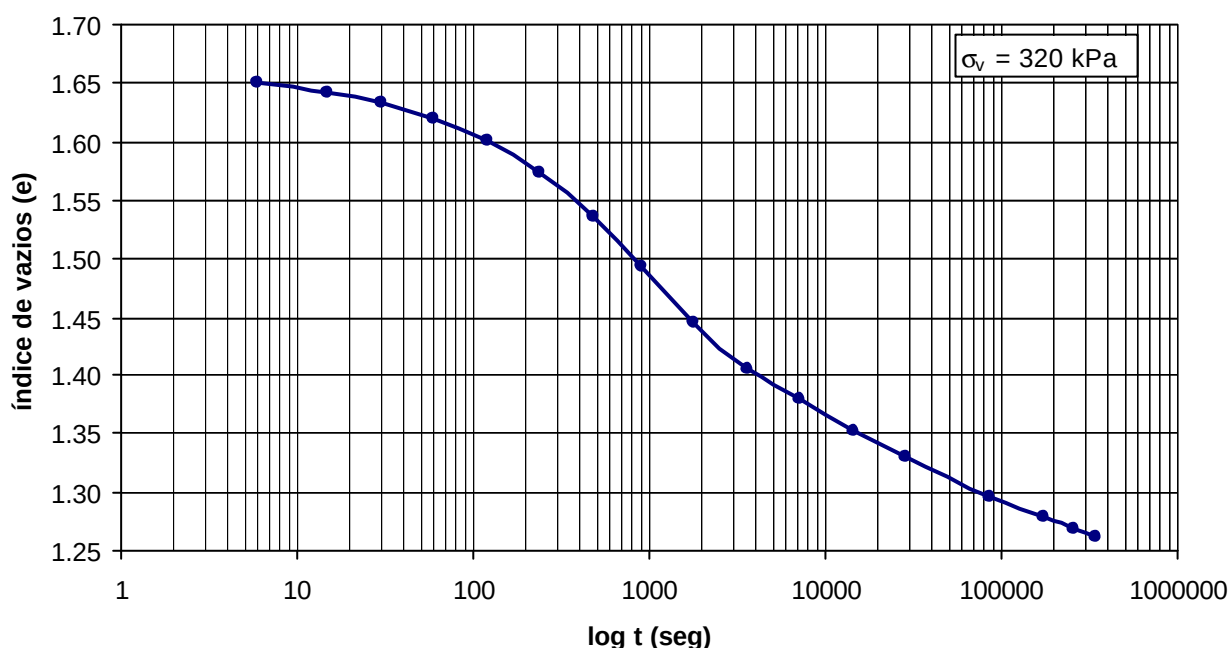


Figura 56 – Variação do índice de vazios em função do tempo

Os valores de coeficiente de compressão secundária (c_{α}) obtidos para a argila mole da escavação experimental do Sarapuí, relatados por Sayão (1980), apresentam uma média da ordem de 0,045. Este valor fica um pouco mais baixo do que o sugerido por Ladd (1971).

O valor do coeficiente de compressão secundária (c_{α}) não foi reportado por Ortigão (1980), por Garcés (1995), ou para a campanha experimental Rio-Polímeros I.

5.3.4 Coeficiente de adensamento vertical (c_v)

A Figura 57 apresenta os valores de c_v em função da tensão efetiva, calculados para cada estágio de carregamento, pelo método de Taylor. Os gráficos mostram uma redução de c_v com o nível de tensão efetiva. No trecho de tensões onde a argila apresenta-se normalmente adensada, o valor de c_v situa-se na faixa entre $0,2$ a $0,6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Ladd (1971) indica que, no caso de ensaios oedométricos em argilas levemente pré-adensadas, o valor de c_v decresce significativamente à medida que se aproxima a pressão de pré-adensamento. Para pressões maiores (compressão virgem), o valor de c_v mantém-se aproximadamente constante. Na fase de expansão, c_v é inicialmente elevado, decrescendo rapidamente a seguir.

Para cada estágio de carregamento, foi calculado o coeficiente de adensamento (c_v) segundo os métodos de Taylor e Casagrande. A comparação entre os valores obtidos pelos dois métodos mostra uma tendência do método de Taylor fornecer maiores valores de c_v . Diversos pesquisadores indicam que, no caso de ensaios de compressão confinada em argilas moles, a razão entre os valores de c_v (método $\sqrt{t}$) e c_v (método $\log t$) têm se mostrado em torno de 2,0 (Lambe e Whitman 1969, Ladd 1971 e Garcés 1995). Para a argila de Sarapuí, Duarte (1977) indica que a razão $c_v (\sqrt{t}) / c_v (\log t)$ foi aproximadamente 1,5, enquanto Sayão (1980) obteve um valor médio de 1,8. Na campanha Rio-Polímeros II foi obtida uma razão da ordem de 1,9.

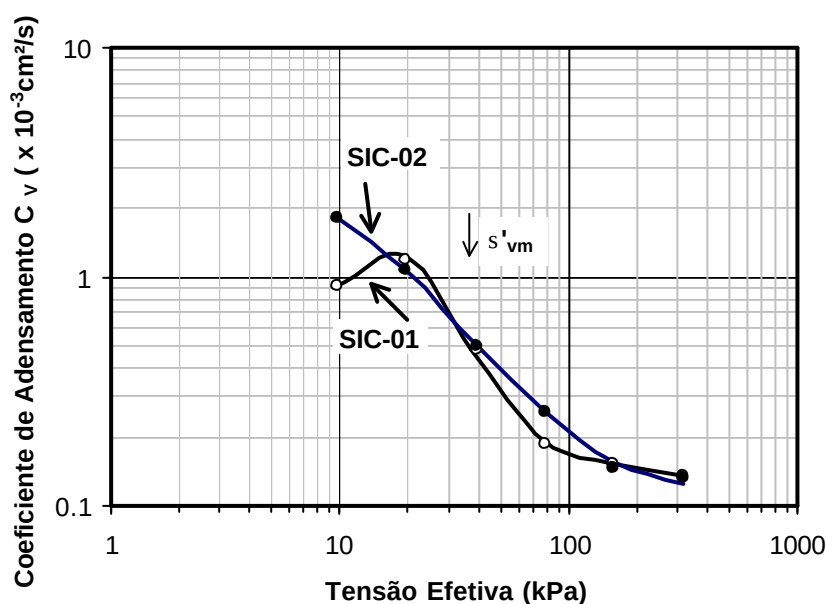


Figura 57 - Valores de C_v - Ensaios SIC

Como apresentado no capítulo 2, Wissa et al. (1971) apresenta duas soluções alternativas para o cálculo de c_v em ensaios CRS, considerando o solo com comportamento linear ou não-linear. Na Figura 58 estão apresentadas as curvas obtidas no ensaio CRS-05, para as duas considerações. Pode-se perceber que os resultados são bastante próximos, praticamente coincidentes na região normalmente adensada. Assim sendo, os valores de c_v apresentados no presente trabalho foram calculados considerando comportamento linear.

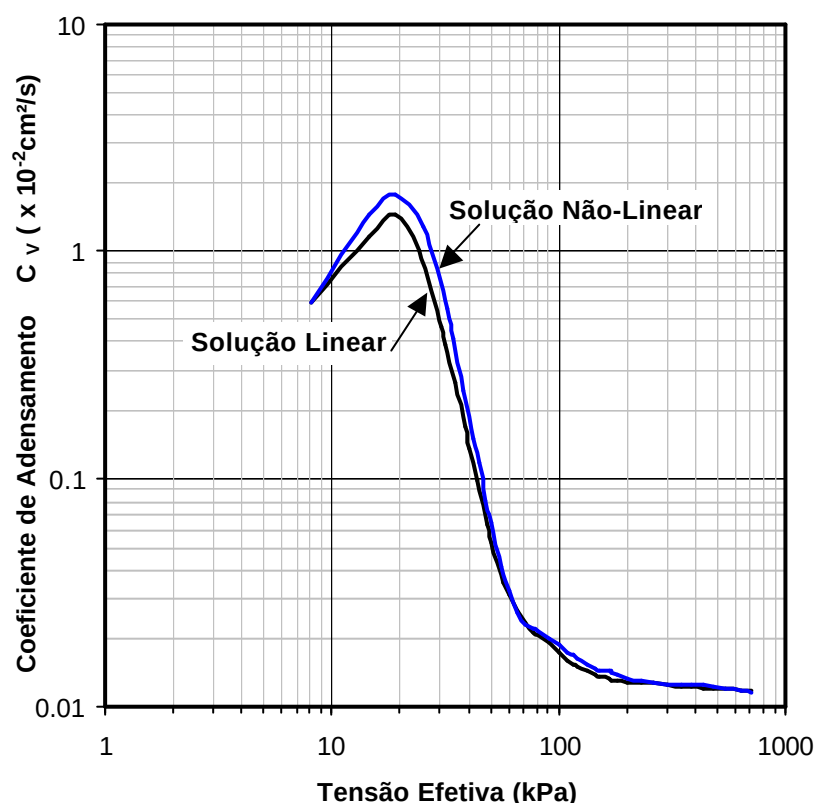


Figura 58 - Valores de C_v - Ensaio CRS

Na Figura 59, estão apresentados os valores de c_v para os ensaios CRS realizados na campanha Rio-Polímeros II. Observa-se o mesmo comportamento, isto é, c_v diminui com o aumento da tensão efetiva. Nota-se também que o valor de c_v sofre redução ao se diminuir a velocidade de deformação. O ensaio mais lento (CRS-05) apresenta resultados semelhantes aos do ensaio convencional, na região normalmente adensada. Adicionalmente percebe-se que o ensaio CRS-03 apresenta curva bastante distinta, para o trecho até 100kPa. Após esta tensão, o ensaio apresenta a mesma tendência percebida para os demais ensaios.

O ensaio CRS-04, que foi realizado com amostra amolgada e na mesma velocidade de deformação do ensaio CRS-03, apresenta valor de c_v um pouco

mais baixo que os demais. Entretanto, segue ainda a mesma tendência, reduzindo o seu valor até a tensão de pré-adensamento e tornando-se constante logo após.

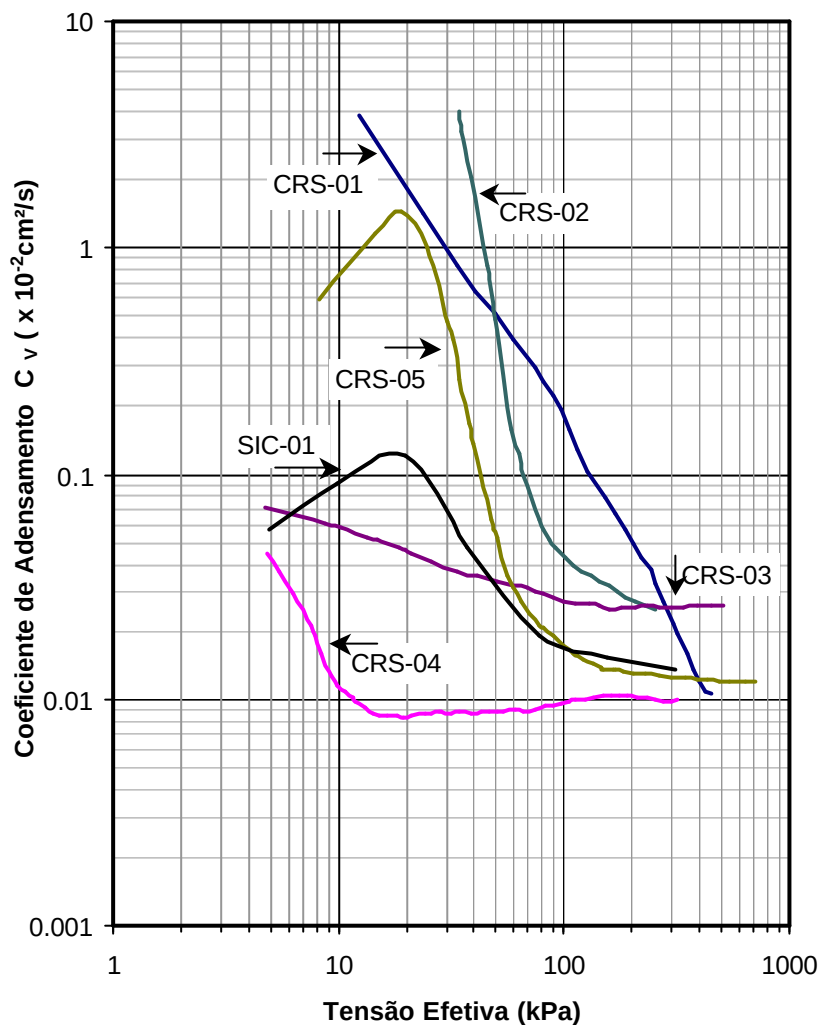


Figura 59 – Comparação da variação do c_v para os ensaios CRS

Na Figura 60 estão apresentadas as variações de c_v em função da variação da velocidade de deformação dos ensaios CRS. Através da indicação do nível de tensão analisado, observa-se que, no trecho de recompressão, há tendência de crescimento, seguido de redução do c_v . Já no trecho virgem, existe o mesmo crescimento inicial e, para as velocidades mais elevadas, há uma tendência de crescimento de c_v com o aumento da velocidade. Esta tendência de crescimento torna-se menos significativa com o aumento do nível de tensão efetiva. No caso de $\sigma'_{vm} = 300\text{kPa}$, a curva é aproximadamente horizontal, sugerindo que não depende da velocidade de deformação.

Observa-se, também, que os resultados dos ensaios SIC são bastante concordantes com os dos CRS para as tensões do trecho virgem. O resultado do ensaio amolgado (CRS-04) não parece variar com o nível de tensão efetiva.

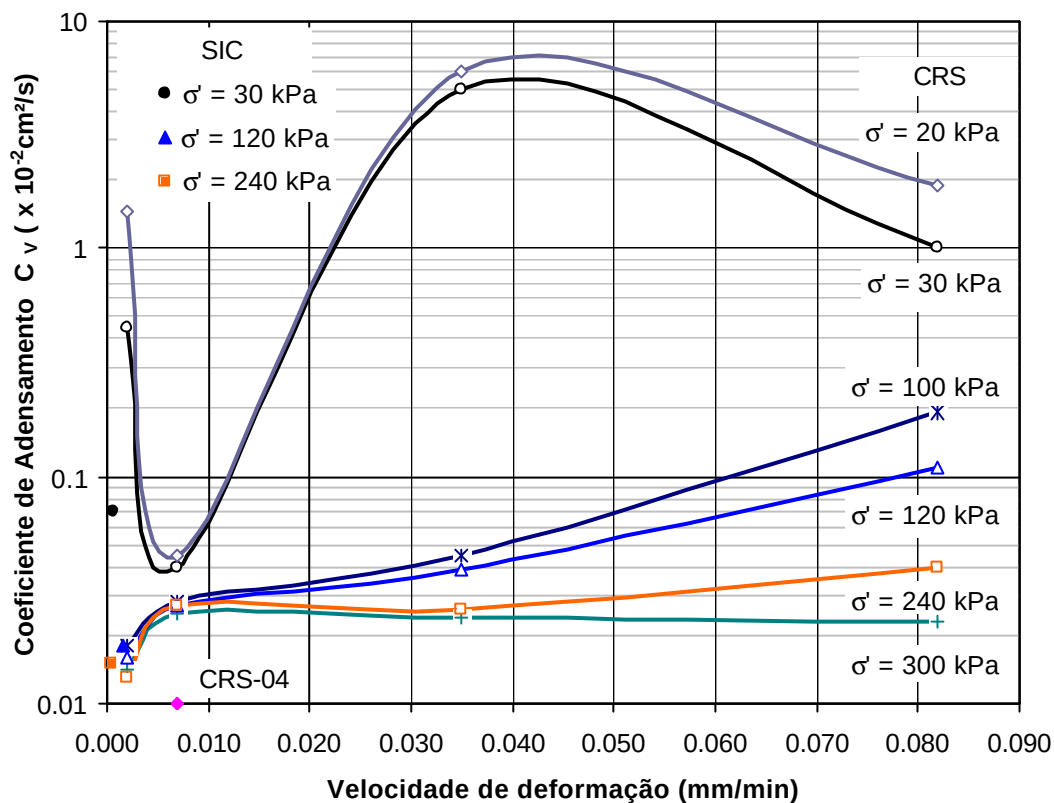


Figura 60 –Variação do c_v em função da velocidade de deformação

Na

Figura 61 estão apresentados os valores de c_v (método de Taylor) obtidos na campanha Rio-Polímeros I, e na campanha Rio-Polímeros II juntamente com resultados apresentados por outros autores. Nota-se uma grande dispersão na faixa encontrada na campanha Rio-Polímeros I. Cabe citar que Ortigão (1980) obteve resultados bastante similares aos de Sayão (1980), mostrando que na região normalmente adensada, em que a dispersão dos resultados é menor, o valor de c_v é da ordem de $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$. Os valores de c_v obtidos no presente trabalho (campanha experimental Rio-Polímeros II) encontram-se portanto na mesma ordem de grandeza encontrada por esses autores para a argila de Sarapuí.

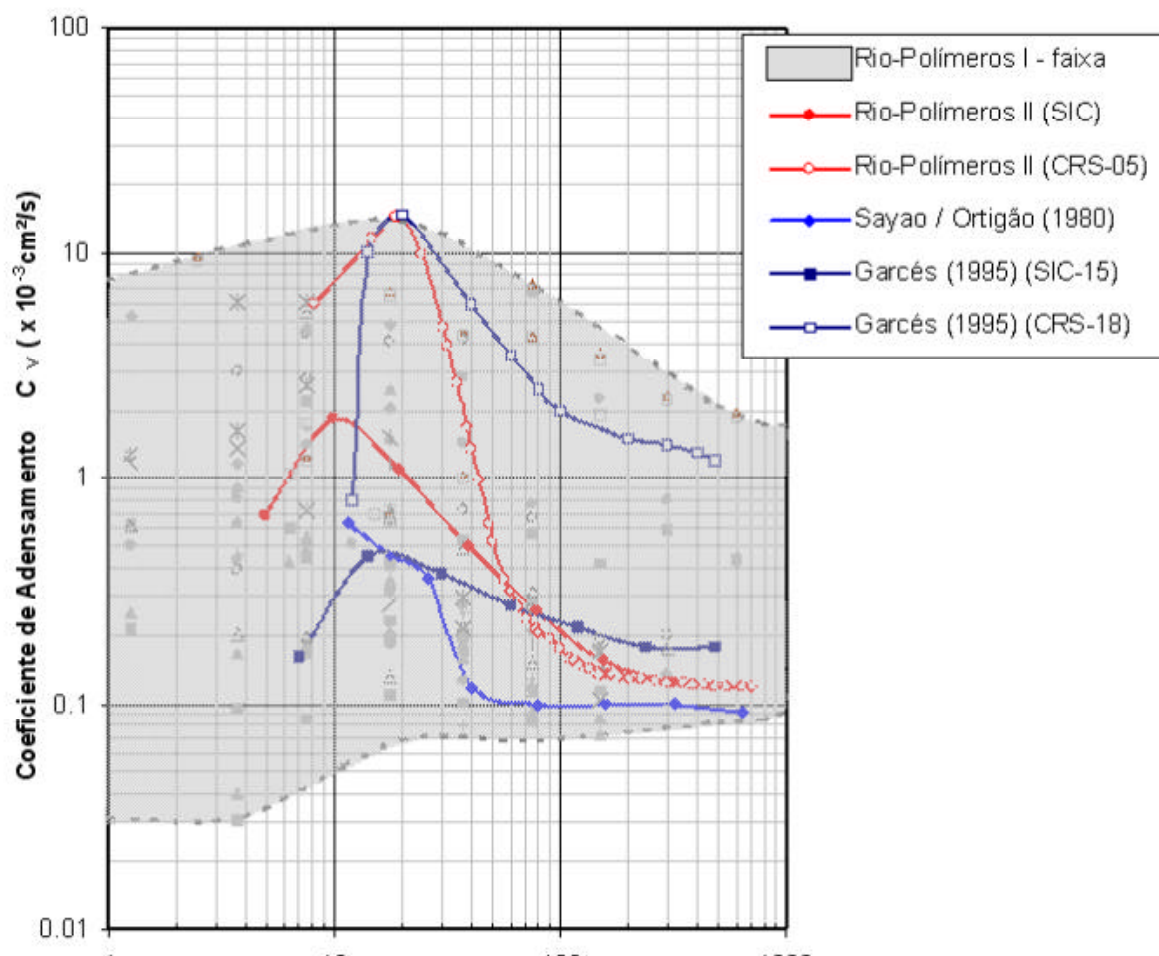


Figura 61 - Valores de C_v

Na Figura 62 estão apresentados os valores de c_v obtidos na campanha Rio-Polímeros II, os resultados apresentados por outros autores e a faixa de valores proposta por Ortigão (1993) (como apresentado na Figura 3). Observa-se que estes resultados apresentam um comportamento similar ao descrito por Ortigão (1993). Para tensões inferiores ou aproximadamente iguais à tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), a dispersão é bastante grande, ocorrendo valores de c_v altos e até mesmo externos à faixa proposta. Já para tensões superiores a σ'_{vm} , no trecho de compressão virgem, o valor de c_v mantém-se aproximadamente constante. Os resultados apresentados se enquadram dentro da faixa proposta.

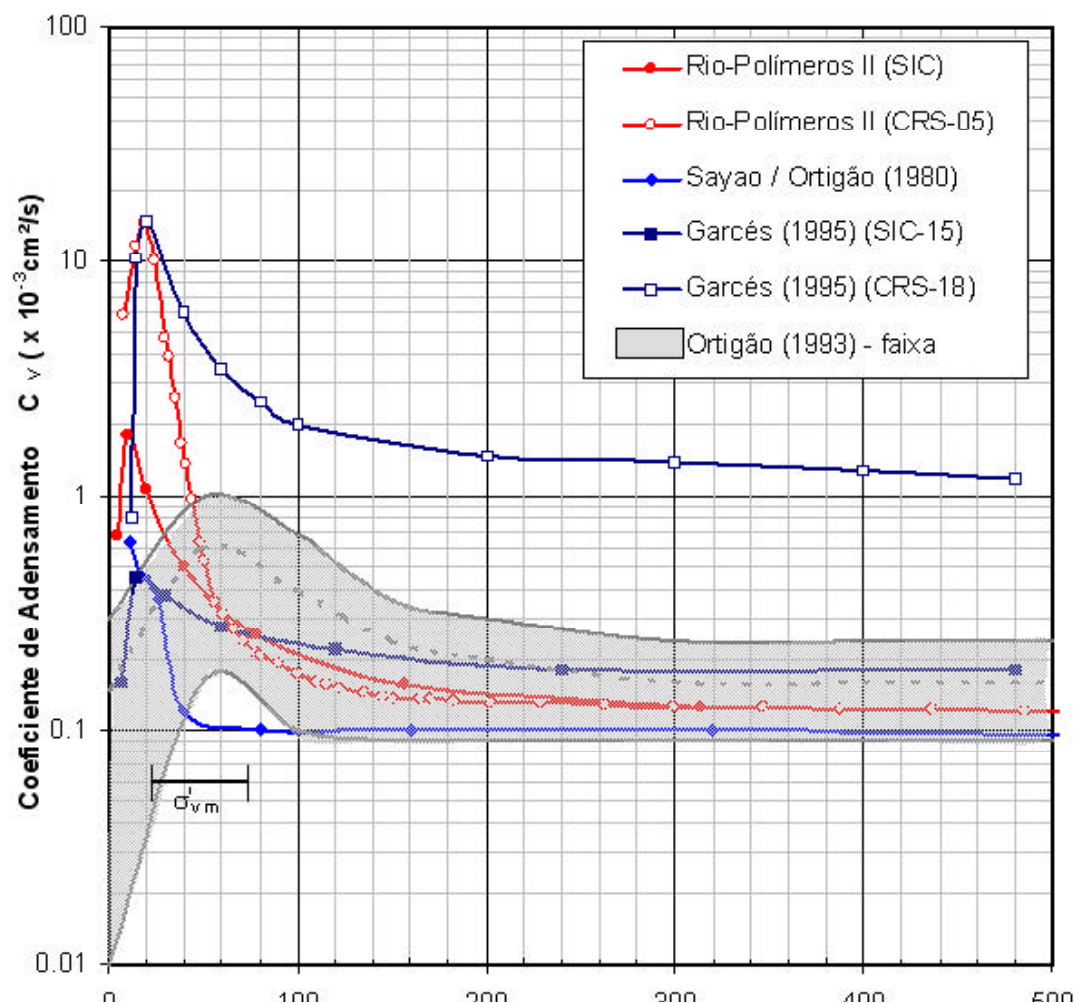


Figura 62 – Adequação dos valores de c_v à faixa proposta por Ortigão (1993)

5.3.5 Coeficiente de variação volumétrica (m_v)

O coeficiente de deformação volumétrica (m_v) é definido pela razão entre a deformação vertical e o incremento de pressão efetiva vertical correspondente.

A Figura 63 mostra as curvas de variação do coeficiente de variação volumétrica (m_v) em função da tensão efetiva. Nos gráficos, observa-se que o coeficiente de variação volumétrica fica em torno de $0,1$ a $0,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{kN}$, independente do nível de tensão efetiva.

Uma maneira alternativa de se avaliar a compressibilidade do material é através da determinação do módulo de compressibilidade (M) definido como o inverso do módulo de variação volumétrica (m_v).

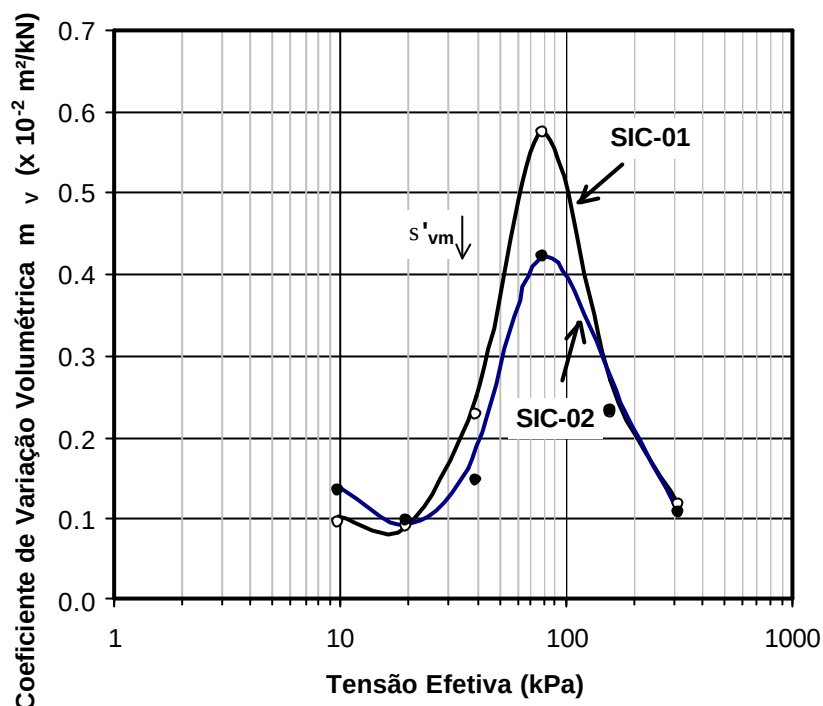


Figura 63 - Valores de m_v - Ensaios SIC

Na Figura 64 estão apresentadas as curvas do módulo de compressibilidade em função da tensão efetiva para os ensaios CRS. Observa-se que os valores de M tendem a diminuir ou permanecer quase constantes na região pré-adensada, passando a aumentar sensivelmente na região normalmente adensada. Esta tendência é mais evidenciada conforme o aumento da tensão efetiva.

Com o decréscimo da velocidade de deformação, o módulo M sofre um aumento, como pode-se perceber pela região final das curvas dos ensaios CRS-03 e CRS-05, que foram os dois ensaios mais lentos do programa experimental.

Na Figura 64, observa-se que a amostra do ensaio CRS-03 dá indícios de um leve amolgamento, já que o formato da curva é próximo ao formato obtido para o ensaio CRS-04, este sim realizado com amostra amolgada.

Pode-se observar também que o inverso do coeficiente de variação volumétrica (m_v), obtido no ensaio SIC-01 (apresentado na Figura 63), coloca-se concordante com os resultados de CRS. Este resultado situa-se entre os resultados dos ensaios CRS-05 e CRS-02.

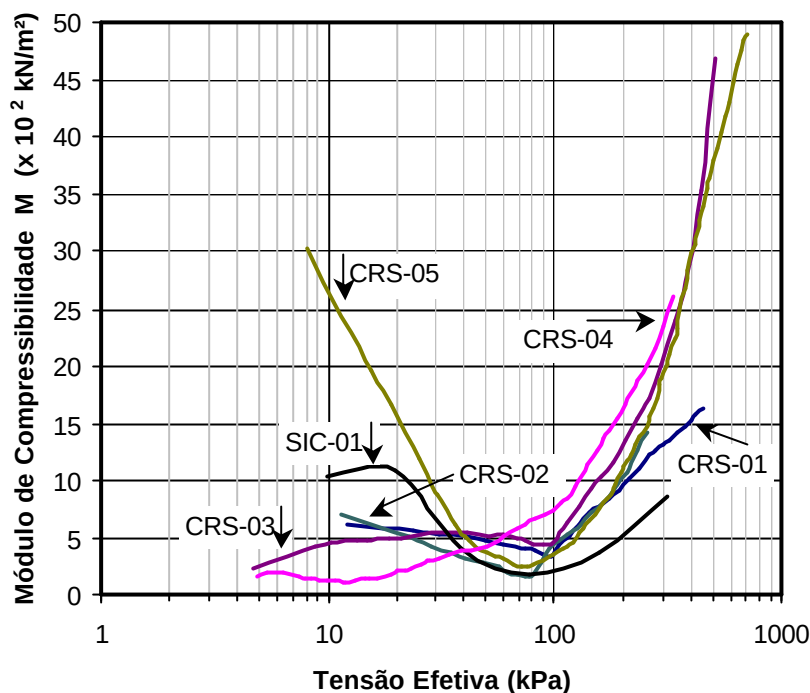


Figura 64 – Comparação da variação do módulo M para os ensaios CRS

Na Figura 65 estão apresentadas as variações de M em função da variação da velocidade de deformação dos ensaios CRS. No trecho de recompressão há uma redução do valor de M seguida de tendência de se tornar constante. O resultado do ensaio SIC tem valor significativamente mais baixo do que os resultados de CRS para este nível de tensão.

Na Figura 66 que apresenta as variações de M no trecho virgem, ocorre uma elevação deste módulo com o aumento do nível de tensão. Existe uma tendência de diminuição dos valores de M com o aumento da velocidade. Esta tendência é menos significativa para os níveis de tensão efetiva mais baixos. No caso de $\sigma'_{vm} = 100$ kPa, a curva é aproximadamente horizontal, sugerindo que não depende da velocidade de deformação. Os ensaios SIC apresentam resultados um pouco dispersos.

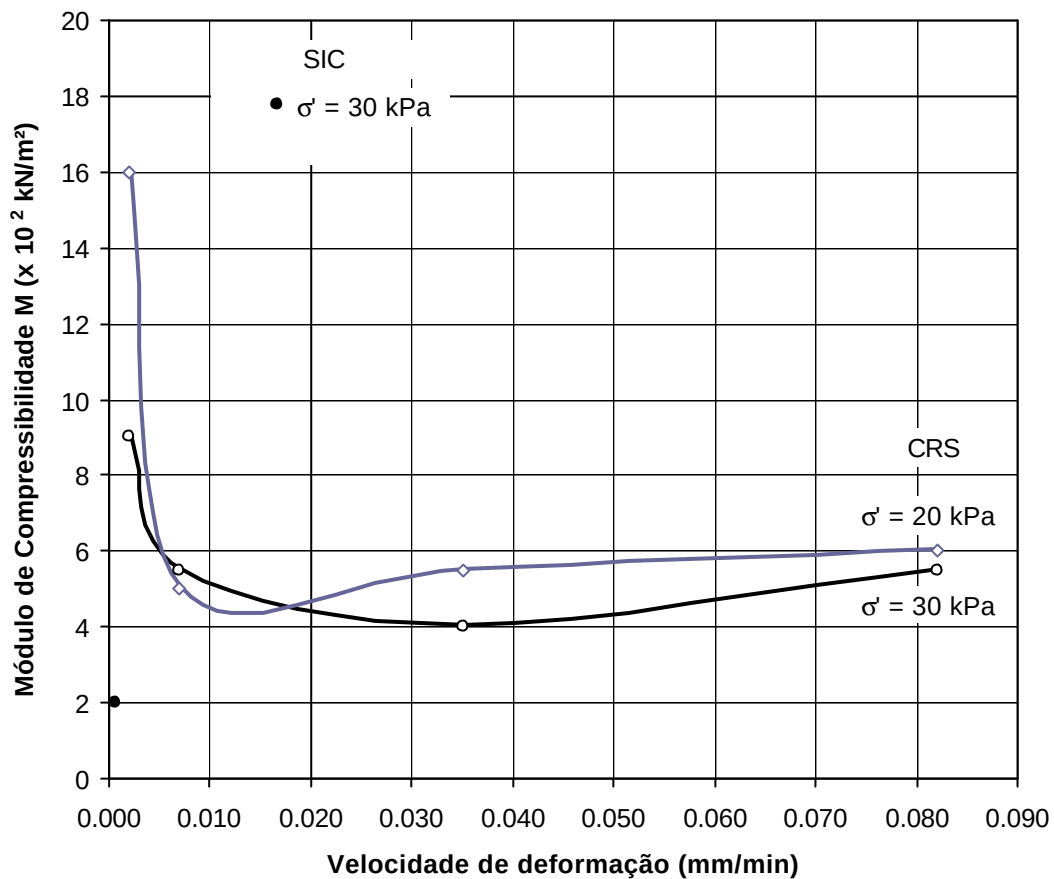


Figura 65 –Variação do módulo M para o trecho de recompressão

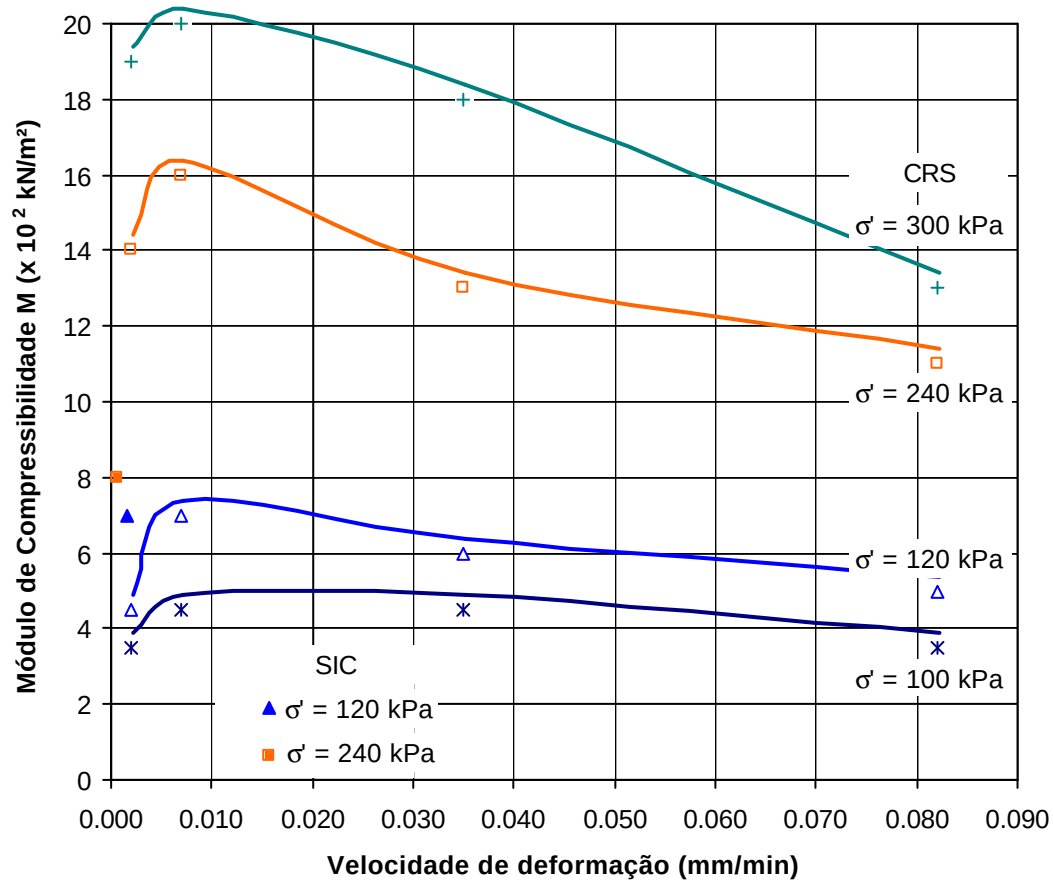


Figura 66 – Variação do módulo M para o trecho virgem

5.3.6 Coeficiente de permeabilidade (k)

Os valores correspondentes ao coeficiente de permeabilidade (k) foram obtidos a partir dos ensaios de adensamento SIC e CRS.

Os ensaios SIC permitem uma estimativa indireta do coeficiente k, em função dos coeficientes de adensamento e de variação volumétrica ($k = c_v m_v \gamma_w$). Os resultados obtidos na presente campanha experimental (Figura 67) indicam uma redução do coeficiente k com o nível de tensão efetiva. No trecho normalmente adensado, o valor de k varia entre $0,01$ e $0,1 \times 10^{-6}$ cm/s.

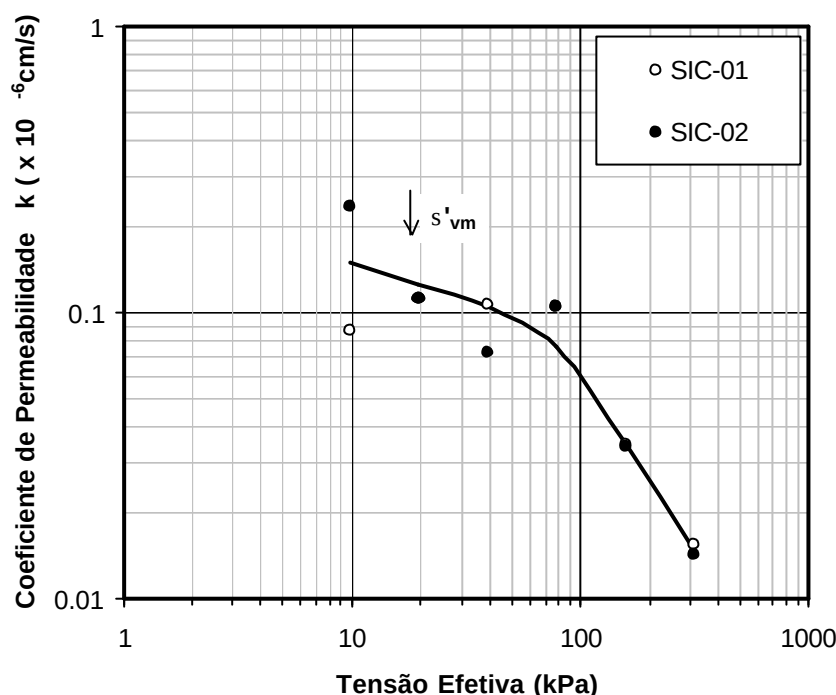


Figura 67 - Valores de permeabilidade obtidos no ensaio SIC

Nos ensaios CRS, k é obtido através de correlações com a poropressão gerada na base, conforme a formulação de Wissa et al. (1971). Na Figura 68, estão apresentadas as curvas da permeabilidade em função da tensão efetiva. Observa-se que a permeabilidade diminui com o aumento da tensão efetiva e com o decréscimo da velocidade de deformação.

Para o ensaio CRS-03, os valores de k não concordam com o comportamento descrito, evidenciando um amolgamento no trecho inicial ($\sigma'_v < 100$ kPa). Após 100 kPa, os valores de k para este ensaio seguem a mesma tendência dos demais. Ainda na mesma figura, está apresentada a curva da permeabilidade em função da tensão efetiva, para o ensaio CRS-04 (amolgado). Os valores são ligeiramente mais baixos do que para o ensaio CRS-03

(realizado com a mesma velocidade de deformação), permanecendo estes valores na faixa de 1 a 100×10^{-8} cm/s.

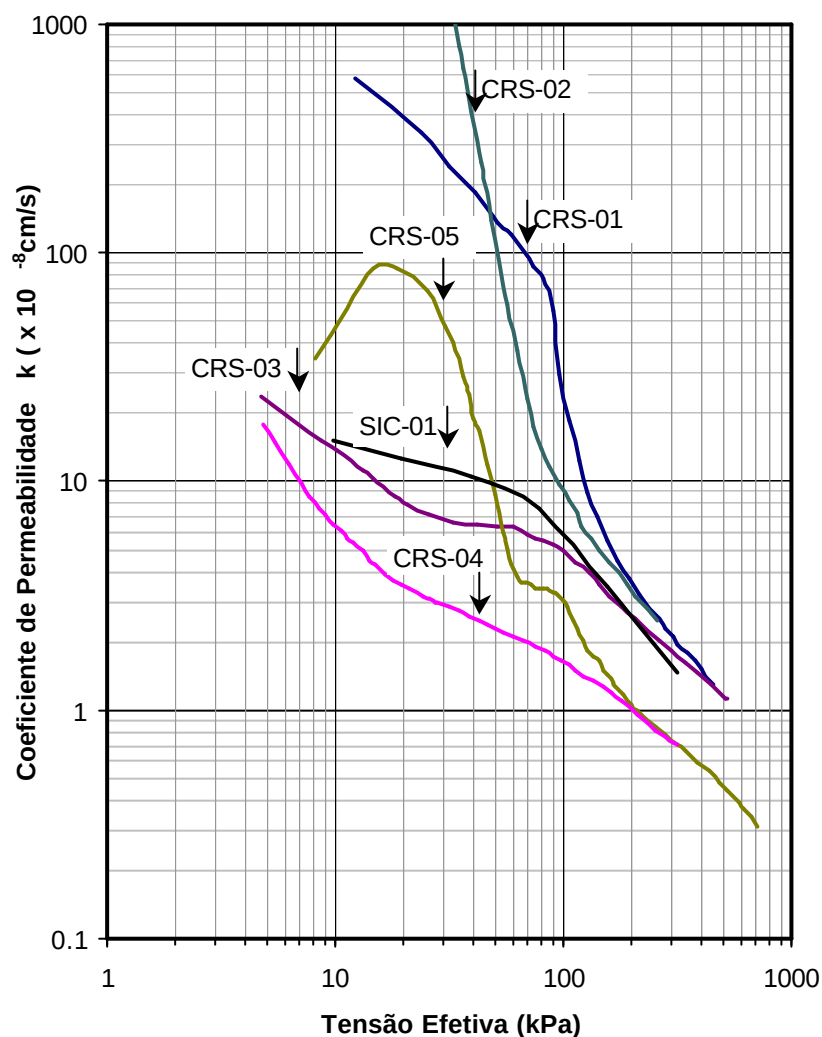


Figura 68 – Comparação da variação de k para os ensaios

Na Figura 69 estão apresentadas as variações de k em função da variação da velocidade de deformação dos ensaios CRS. Observa-se que, no trecho de recompressão, há tendência de crescimento de k , seguido de redução. Já no trecho virgem, ocorre o mesmo crescimento inicial. Para as velocidades mais elevadas, vê-se uma tendência de crescimento com o aumento da velocidade a qual se torna menos significativa com o aumento do nível de tensão efetiva. No caso de $\sigma'_{vm} = 300$ kPa, a curva é aproximadamente horizontal, sugerindo que não depende da velocidade de deformação.

Observa-se, também, que os resultados dos ensaios SIC concordam com os CRS para as tensões no trecho virgem.

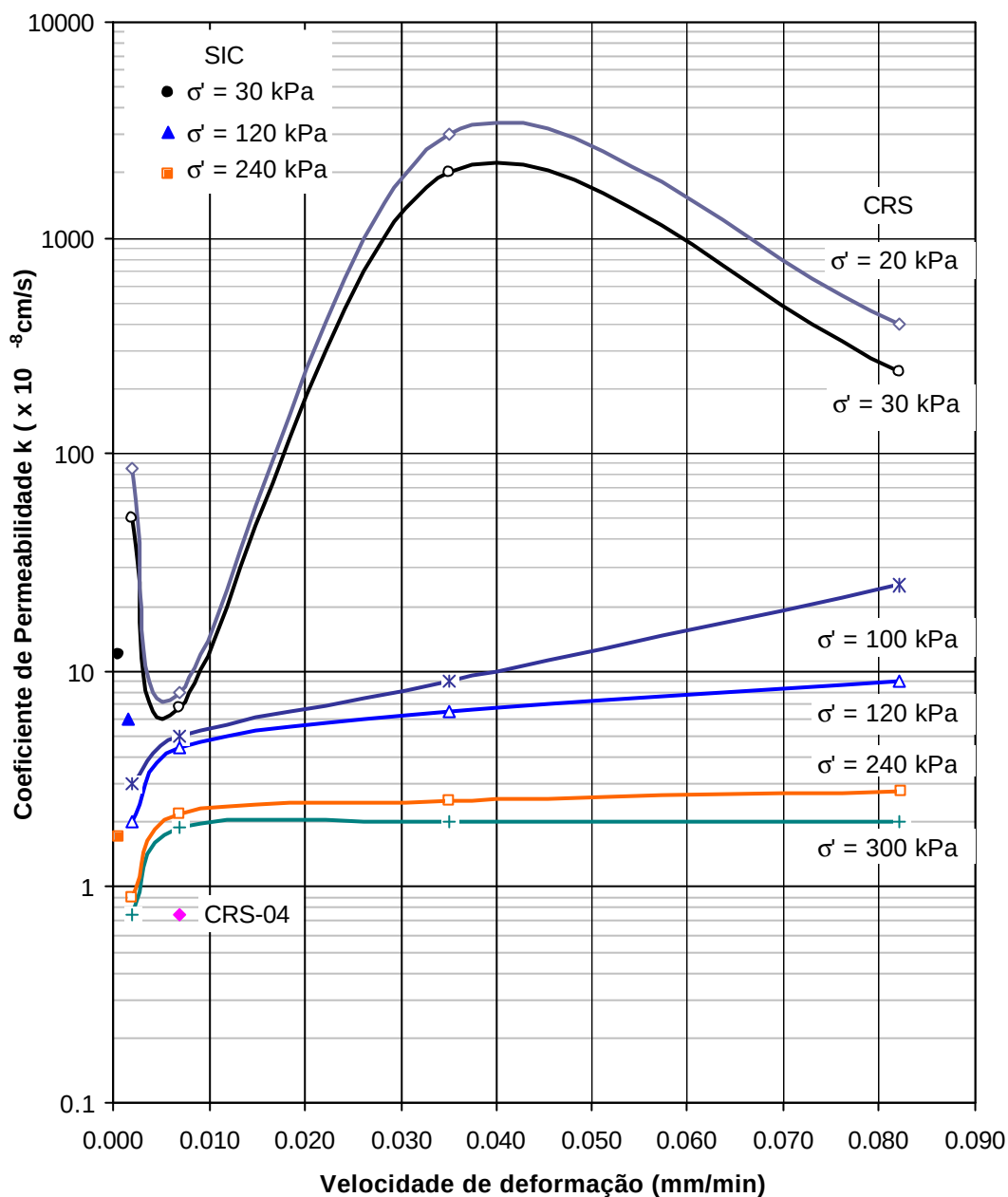


Figura 69 – Variação de k com a velocidade de deformação

5.4 Triaxiais

A campanha Rio-Polímeros II envolveu a realização de ensaios triaxiais tipo CID, CIU e UU. Os ensaios consolidados (CID e CIU) foram executados sob três níveis distintos de confinamento, permitindo a determinação da variação do módulo de deformabilidade com o nível de tensão. Os ensaios UU, executados em amostras amolgadas e indeformadas, permitiram uma análise da influência do amolgamento nos resultados dos parâmetros obtidos.

A Tabela 35 apresenta o resumo dos resultados obtidos para cada um dos ensaios, o parâmetro de poropressão (B) após a saturação, o módulo de deformabilidade (E_{50}), a umidade final do corpo de prova (w_f), a deformação axial na ruptura (ϵ_{af}), a semi-soma das tensões efetivas principais na ruptura (p'_f) e a metade da tensão desviadora na ruptura (q_f).

Tabela 35 - Resultados dos ensaios triaxiais CID

Ensaio	B	E_{50} (kPa)	w_f (%)	ϵ_{af} (%)	p'_f (kPa)	q_f (kPa)
CID-01	1,00	1630	52,6	25	235	85
CID-02	0,99	850	70,4	16	80	30
CID-03	1,00	910	57,5	22	160	50

A Tabela 36 apresenta o resumo dos resultados obtidos para cada um dos ensaios, contendo o parâmetro de poropressão (B) após a saturação, o módulo de deformabilidade (E_{u50}), o parâmetro A na ruptura (A_f), a variação da poropressão na ruptura (Δu_f), a umidade final do corpo de prova (w_f), a deformação axial na ruptura (ϵ_{af}), a semi-soma das tensões efetivas principais na ruptura (p'_f) e a metade da tensão desviadora na ruptura (q_f).

Tabela 36 - Resultados dos ensaios triaxiais CIU

Ensaio	B	E_{u50} (kPa)	A_f	D_{uf} (kPa)	w_f (%)	ϵ_{af} (%)	p'_f (kPa)	q_f (kPa)
CIU-04	0,99	2670	1,21	96	75,12	7,5	91,5	39,5
CIU-05	1,00	5270	1,10	134	57,01	14,0	121,5	60,5
CIU-06	0,98	1100	0,90	40	73,45	7,0	53,0	22,0

A Figura 70 exibe os resultados dos ensaios triaxiais CID. Nesta figura observa-se que a tensão desviadora cresce com as deformações axiais, até atingir um valor máximo, que corresponde à resistência de pico. Da mesma forma, nota-se um acréscimo de resistência e rigidez com o aumento do confinamento. Em relação às deformações volumétricas, observa-se que os corpos de prova sofrem apenas compressão durante o cisalhamento. Este comportamento é típico das argilas normalmente adensadas.

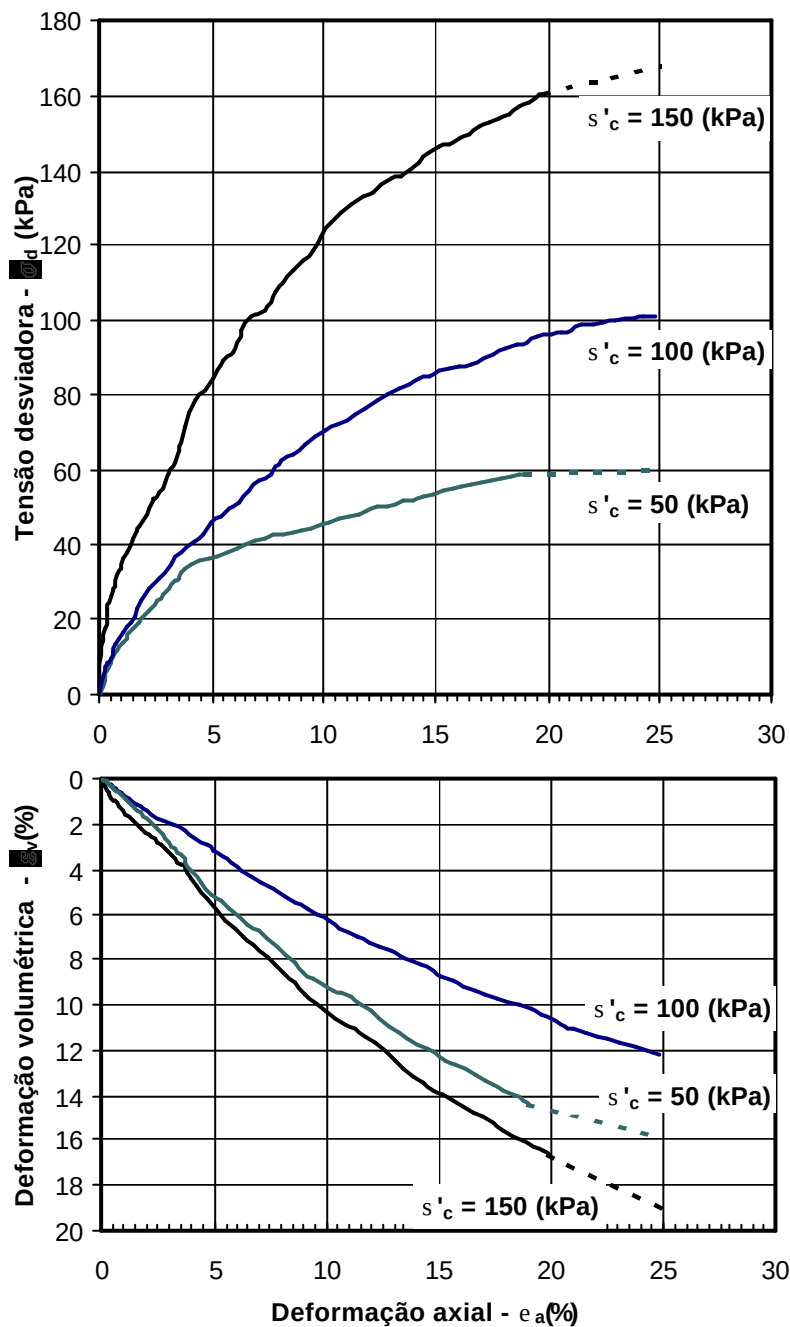


Figura 70 - Resultados dos ensaios triaxiais CID

Na Figura 71, em todos os resultados dos ensaios triaxiais CIU, observa-se que a tensão desviadora cresce com as deformações axiais até atingir um valor máximo. Uma vez atingida a resistência máxima, a tensão desviadora decresce lentamente até se estabilizar em torno de um valor. Nota-se, também, um acréscimo de resistência e da poropressão com o aumento do confinamento.

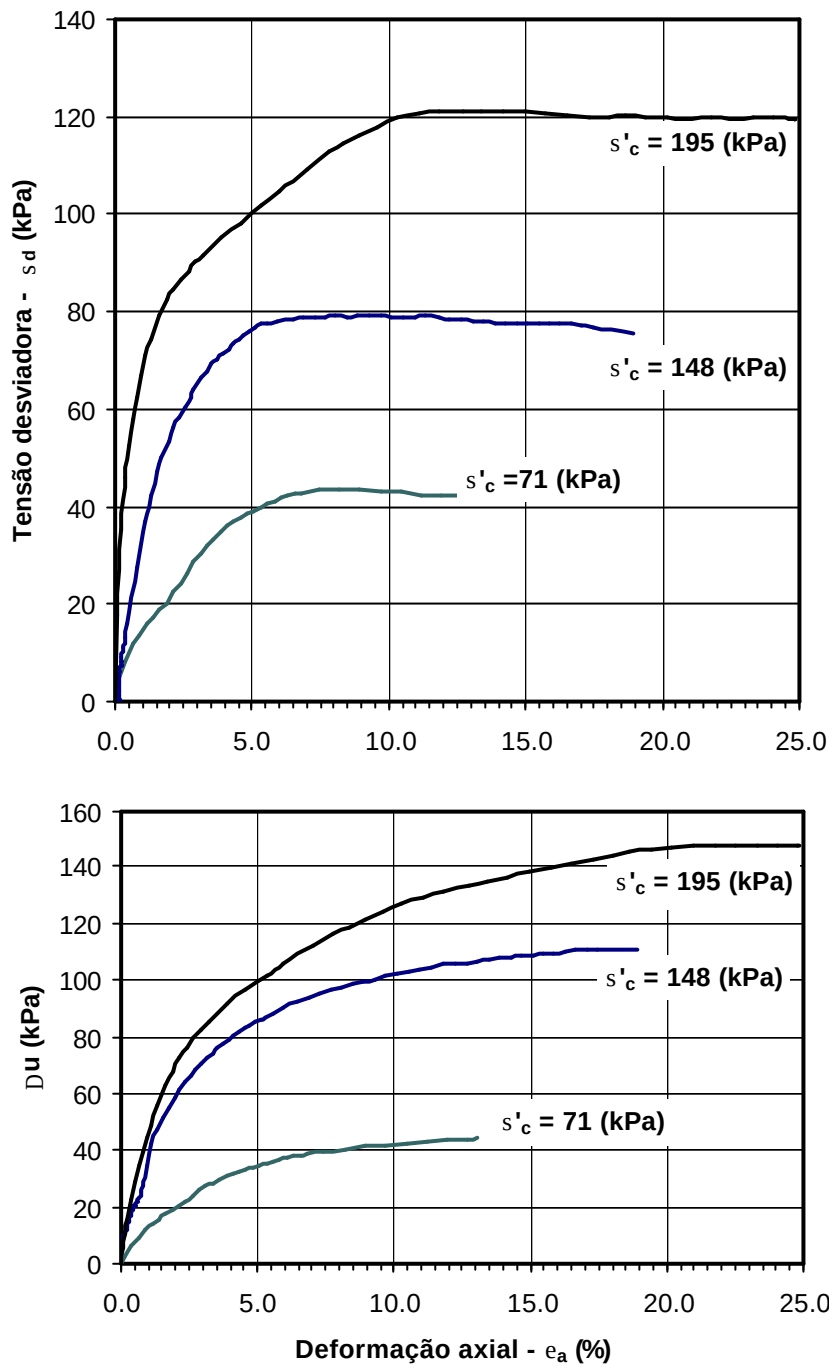


Figura 71 - Resultados dos ensaios triaxiais CIU

Os resultados obtidos a partir dos ensaios UU estão apresentados na Tabela 37, que resume os valores de profundidade original no campo (z), umidade final do corpo de prova (w_f), tensão vertical efetiva no campo (σ'_{v0}), tensão confinante (σ_c), tensão efetiva residual média (σ'_R), módulo de deformabilidade sob condição não drenada (E_u), deformação axial na ruptura (ε_{af}) e metade da tensão desviadora na ruptura (q_f).

Tabela 37 - Resultados dos ensaios triaxiais UU

Ensaio	z (m)	s'_{v0} (kPa)	s_c (kPa)	s'_R (kPa)	w_f (%)	E_{u50} (kPa)	e_{af} (%)	$q_f = Su$ (kPa)	p'_f (kPa)
UU-01	4,5	32	100	4	88,76	820	4,5	12,3	11,9
UU-02	4,5	32	100	1	81,97	540	12	5,4	82,0

O valor de σ'_R refere-se à tensão efetiva média existente no corpo de prova no início do ensaio. Nos ensaios UU, o valor de σ'_R é idêntico à tensão efetiva (p') no instante inicial da fase de cisalhamento. O módulo E_u foi definido com base no ponto correspondente a 50% do valor de q_f .

A Figura 72 ilustra os resultados dos ensaios triaxiais UU. Para a amostra indeformada nota-se a presença de um pico de resistência quando a tensão desviadora máxima é atingida. A seguir, ocorre uma rápida redução nos valores da tensão desviadora. Para o ensaio na amostra previamente amolgada, observa-se que a tensão desviadora cresce até atingir um valor máximo e, a partir daí, passa a decrescer lentamente, até se estabilizar.

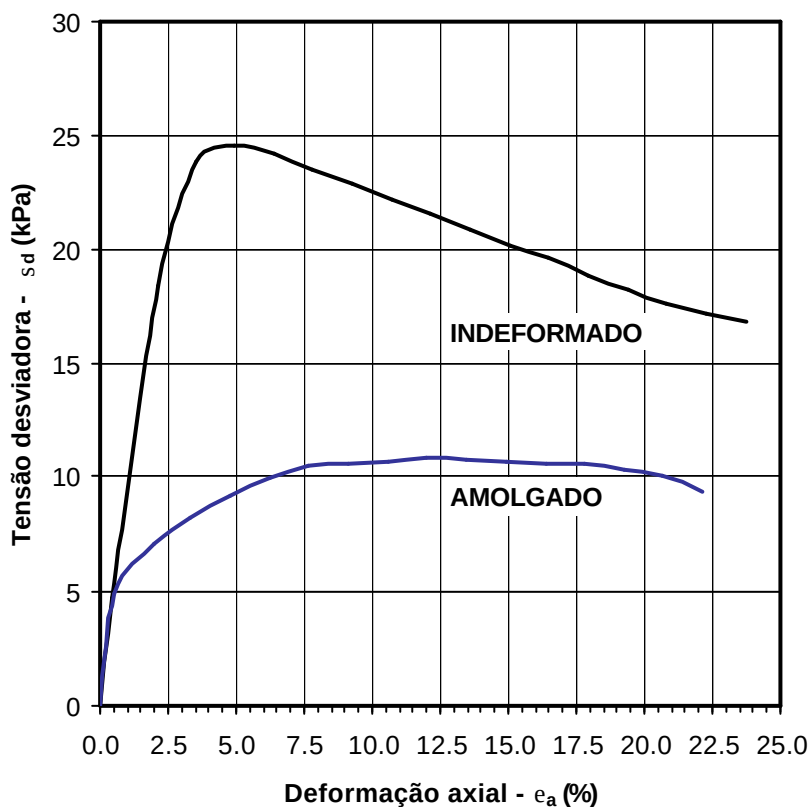


Figura 72 - Resultados dos ensaios triaxiais UU

5.4.1 Deformabilidade

A razão entre a tensão atuante no solo e a deformação correspondente determina o módulo de deformabilidade (E) do solo. Na maioria dos problemas envolvendo a distribuição de tensões e de deformações em solos, existem dificuldades quanto à seleção de um valor adequado de módulo de deformabilidade. Estas dificuldades estão relacionadas ao fato do solo não apresentar um comportamento elástico e isotrópico.

Em outras palavras, o E depende não só da tensão de confinamento, mas também do nível de tensão cisalhante do solo.

A determinação do valor de E em argilas normalmente adensadas é influenciada por uma série de fatores, tais como: amolgamento, tensão efetiva inicial, nível de tensões, velocidade de deformação, etc.

A Tabela 38 apresenta os valores de E determinados a partir dos ensaios CID, CIU e UU. Nesta tabela, E_i representa o módulo de deformação inicial, determinado no trecho inicial das curvas tensão vs. deformação, E_{50} o módulo de deformação a cinquenta por cento da tensão desviadora e σ'_c a tensão confinante efetiva. O valor de E_{50} também é obtido a partir das curvas $\sigma \times \varepsilon$ e é definido como a razão entre a tensão equivalente à metade da tensão que provoca a ruptura e a deformação correspondente.

Tabela 38 - Módulo de deformabilidade (E) obtido de ensaios triaxiais

CID			CIU			UU		
s'_c (kPa)	E_i (kPa)	E_{50} (kPa)	s'_c (kPa)	E_i (kPa)	E_{50} (kPa)	s'_c (kPa)	E_i (kPa)	E_{50} (kPa)
50	1350	850	71	1650	1100	4 *	1000	820
100	2010	910	148	2910	2670	1 **	1000	540
150	4800	1630	195	9400	5270	*indeformado	**amolgado	

Nos ensaios UU realizados com amostra indeformada e com amostra previamente amolgada mostram que para a amostra amolgada a curva deixa de apresentar pico de resistência. Com isso, os valores de E_{50} na amostra amolgada são sensivelmente mais baixos que os da amostra indeformada. Diversos pesquisadores têm verificado que o amolgamento do corpo de prova é o principal responsável pelos valores de E relativamente baixos obtidos em ensaios UU (Simons, 1957). Ladd e Lambe (1963) apresentam resultados de ensaios triaxiais em diversos tipos de argilas normalmente adensadas e

recomendam que o módulo E deve ser obtido a partir de ensaios CIU, onde os efeitos do amolgamento são minimizados pelo estágio de adensamento.

A Figura 73 apresenta os valores de E_{50} obtidos a partir dos ensaios não drenados (CIU e UU).

Em todos os ensaios observa-se que o módulo de deformabilidade aumenta com o nível de tensão efetiva, sugerindo, em campo, um aumento de E com a profundidade.

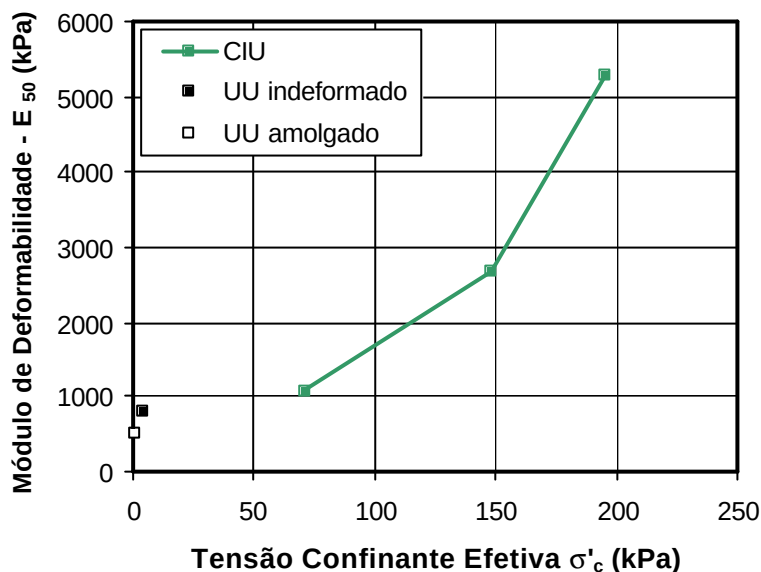


Figura 73 – Módulo E a partir de ensaios não drenados

Tendo em vista a não linearidade das curvas tensão-deformação dos solos argilosos, outro fator de grande importância é o nível de tensões mais adequado à obtenção do módulo de deformabilidade. O critério tradicionalmente mais utilizado é o do módulo secante E_{50} , justificando assim a maior ênfase dada a este parâmetro.

Também costuma-se utilizar o coeficiente de Poisson (ν) secante, associado às deformações relativas a 50% da tensão desviadora na ruptura. Na presente campanha os valores de ν situaram-se na faixa entre 0,1 e 0,18.

A influência da trajetória de tensão na deformabilidade do material foi avaliada comparando-se os resultados dos ensaios triaxiais com os de adensamento convencional. Para eliminar a influência do nível de tensões, a comparação restringiu-se ao ponto em que a trajetória de tensão do ensaio triaxial CID cruza a trajetória de adensamento (k_0), como indicado na Figura 74.

A Tabela 39 resume os valores dos módulos de deformabilidade e de coeficiente de Poisson obtidos para o nível de tensão p'_1 e q'_1 (Figura 74). Na

mesma tabela estão apresentados os valores do módulo de deformabilidade volumétrica (M) obtidos nos ensaios de adensamento para o estágio correspondente aos níveis de tensão p'_1 e q'_1 , assim como os calculados através da correlação:

$$M = \frac{E(1-n)}{(1+n)(1-2n)} \quad (7)$$

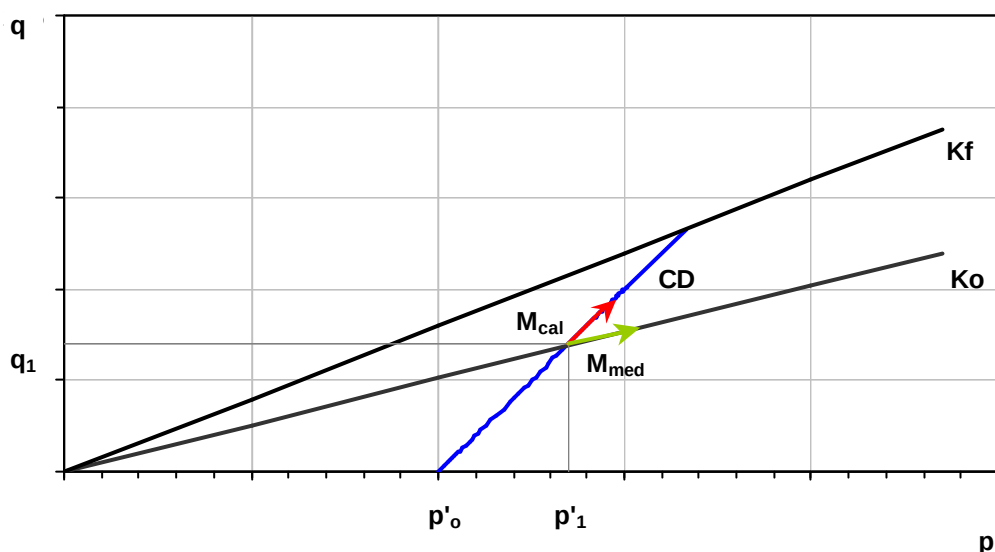


Figura 74 - Esquema das trajetórias de tensão

Tabela 39 - Parâmetros de deformabilidade obtidos nos ensaio CID

Ensaio					Triaxial			Adensamento	
	p'_o (kPa)	p'_1 (kPa)	q'_1 (kPa)	s'_{v1} (kPa)	E (kPa)	n	M_{cal} (kPa)	Estágio (kPa)	M_{med} (kPa)
CID -02	50	68	18	86	460	0,05	462	80 a 160	520
CID -03	100	135	35	170	445	0,18	483	160 a 320	1032
CID -01	150	200	51	251	667	0	667	160 a 320	1032

Comparou-se os valores do módulo de deformabilidade volumétrica (M) medidos nos ensaios de adensamento com os valores calculados através da correlação entre E e ν obtidos dos ensaios triaxiais. Observa-se que os valores de M medidos são maiores do que os calculados a partir dos ensaios triaxiais. Assim, verifica-se a influência da trajetória de tensão na obtenção do módulo de deformabilidade do material.

Poro-pressões

Os parâmetros A e B de Skempton (1954), relacionam-se com a variação de poro-pressão e com a condição de saturação nos corpos de prova. Estes parâmetros podem ser estimados em ensaios triaxiais.

O parâmetro A relaciona basicamente uma variação na tensão desviadora com o excesso de poro-pressão correspondente.

O parâmetro B, no caso de materiais com grau de saturação próximo a 100% é comum considerar-se a poro-pressão como sendo igual a pressão da água, medida diretamente em um transdutor de pressão

No caso da presente campanha os valores obtidos para os parâmetros A e B estão apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 – Parâmetros de poro-pressão dos ensaios triaxiais

Ensaio	B	A _f
CIU-04	0,99	1,21
CIU-05	1,00	1,10
CIU-06	0,98	0,90

5.4.2

Resistência ao cisalhamento

Resistência em termos de tensões efetivas

Na Figura 75 estão plotados os resultados dos ensaios triaxiais realizados na campanha Rio-Polímeros II. Observa-se que a envoltória de resistência do ensaio CIU forneceu um ângulo de atrito levemente superior à envoltória do ensaio CID. No entanto, os pontos experimentais dos diferentes ensaios (CIU e CID) podem ser ajustados a partir de uma envoltória única de resistência com $a' = 0$ kPa e $\alpha' = 22^\circ$, o que corresponde a $c' = 0$ kPa e $\phi' = 24^\circ$. Tais valores são semelhantes aos obtidos por Sayão (1980) e Ortigão e Lacerda (1977) para a argila mole de Sarapuí.

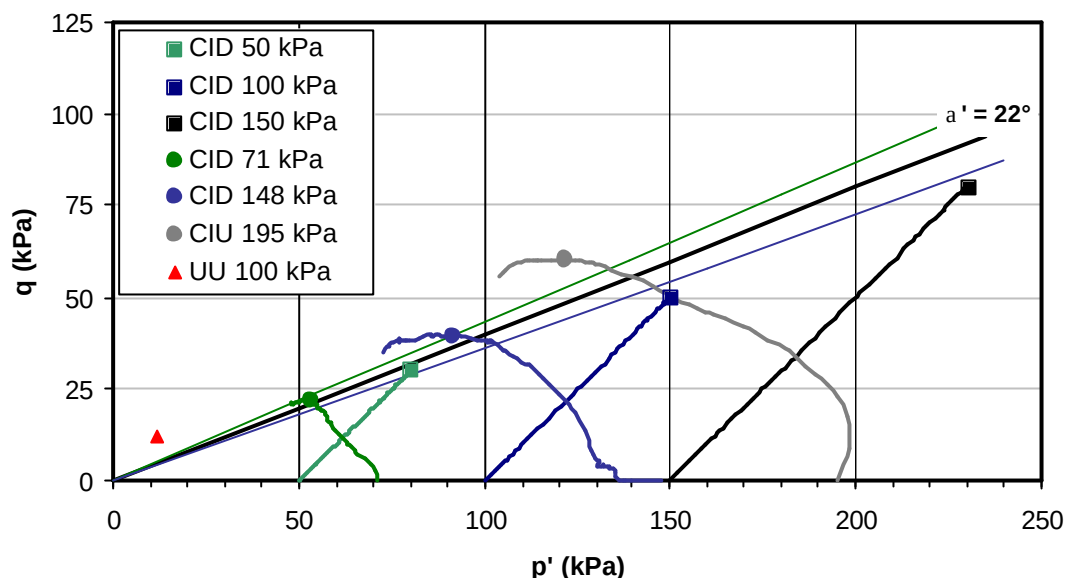


Figura 75 - Envoltória de resistência

Resistência não drenada

A resistência não drenada (S_u) de argilas pode ser obtida através de ensaios triaxiais do tipo CIU e UU. Nos ensaios CIU, faz-se um carregamento axial não drenado em corpos de prova que estão com σ'_c iguais às tensões confinantes aplicadas no início do carregamento. As resistências são diferentes, pois em cada ensaio a tensão confinante efetiva no início do carregamento axial é diferente. Cada ensaio CIU indica a resistência não drenada para o estado de tensões efetivas correspondente à tensão confinante do ensaio.

A Tabela 41 apresenta os resultados médios da resistência não drenada obtida nos diferentes tipos de ensaios triaxiais realizados na campanha experimental Rio-Polímeros II. Os valores de resistência não drenada normalizada em relação à tensão efetiva vertical variam entre 0,27 e 0,31, podendo se indicar um valor médio de $S_u/\sigma'_c = 0,30$, característico de argilas normalmente adensadas. A Figura 76 apresenta os valores de S_u obtidos em função de σ'_c . Não foi incluído o resultado da resistência não drenada do ensaio UU pois a $\sigma' \ll \sigma'_{\text{campo}}$, portanto o material deste corpo de prova se comportou como pre-adensado. Também o resultado do ensaio UU com amostra previamente amolgada não foi incluído pois trata-se de outro material.

Tabela 41 – Resistência não drenada dos ensaios triaxiais CIU e UU

Ensaio	s'_c (kPa)	S_u (kPa)
UU-01	4	12,5
UU-02*	1	5,4
CIU-04	71	22,0
CIU-05	148	39,5
CIU-06	195	60,5

* amolgado

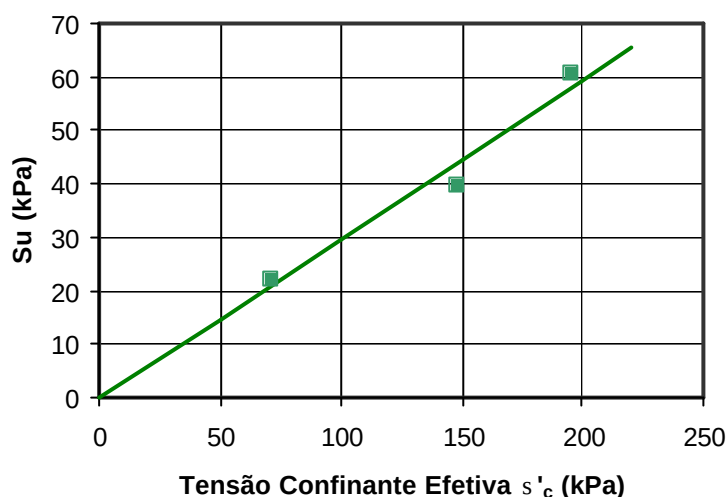


Figura 76 - Resistência não drenada em função da tensão confinante

Nota-se que a resistência não-drenada obtida a partir do ensaio UU com amostra deformada é significativamente inferior à resistência da amostra indeformada. O amolgamento sofrido pela amostra é a principal causa para baixos valores de tensão efetiva inicial, por ocasião da fase de cisalhamento dos ensaios UU. Quanto maior for a tensão efetiva inicial, maior será a resistência do corpo de prova.

Na Figura 77 está apresentada uma comparação da resistência não drenada obtida no presente trabalho, com a apresentado por outros autores para a argila da Baixada Fluminense. Os valores de resistência mais elevados, apresentados por Sayão (1980) são justificados pela evidência de que o adensamento primário, provocado pelo lançamento do aterro, já se encontrava encerrado por ocasião da retirada das amostras do referido trabalho.

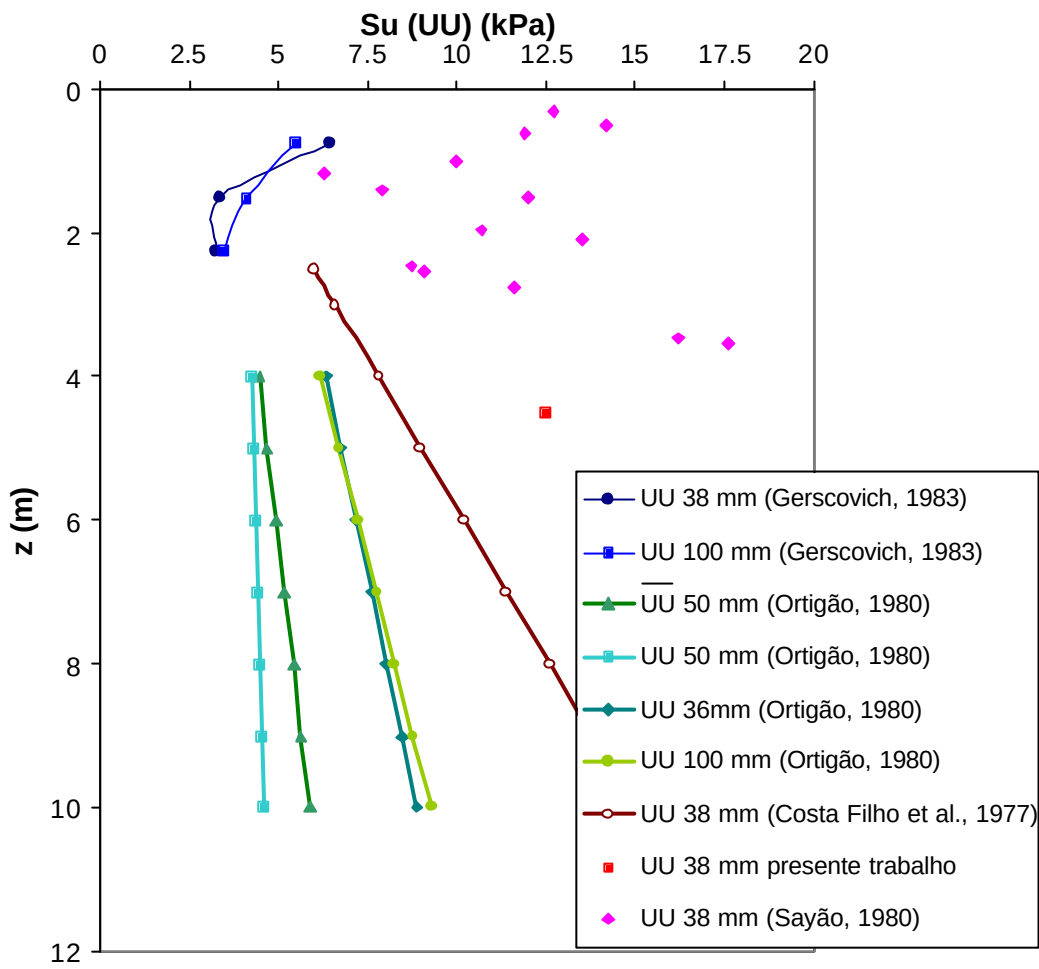


Figura 77 - Variação de Su (UU) com a profundidade