

6 Ensaio de Resistência

Prévio, ao início da execução dos ensaios de resistência, foi necessário a determinação das velocidades ao qual seriam cisalhadas as amostras avaliadas, tanto para a condição saturada como para a condição não saturada.

A utilização de uma adequada velocidade de cisalhamento assegurará o comportamento drenado das amostras ao longo dos ensaios.

A continuação nos seguintes itens apresentam-se os procedimentos e cálculos feitos para a determinação de estas velocidades e conseqüentemente o início da execução dos ensaios de resistência.

6.1. Velocidade de cisalhamento

6.1.1. Tempo de Ruptura para Ensaio saturados.

Dado que o ensaio de cisalhamento direto é drenado, é necessário cisalhar o corpo de prova com uma velocidade adequada e suficientemente pequena para garantir a dissipação de qualquer excesso de poropressão.

Gibson e Henkel (1954) formularam um método teórico para determinação aproximada do tempo de ruptura para ensaios drenados em amostras saturadas e submersas (equação 6.1).

$$t_f = \frac{H_d^2}{2 \cdot C_v(1 - U)} \quad (6.1)$$

Onde:

T_f : Tempo de ruptura;

H_d : Altura de drenagem do corpo de prova;

C_v : Coeficiente de adensamento;

U : Grau meio de dissipação de poropressão (95%).

Tabela 6.1 – Velocidades de Cisalhamento para a condição Saturada do solo Colúvio.

Ensaio	t_{90} (min)	t_f (min)	V estimada (mm/min)
CD01	0.417	5.292	0.944
CD02	0.15	1.905	2.625
CD03	0.15	1.905	2.624

Tabela 6.2 – Velocidades de Cisalhamento para a condição Saturada do solo Residual Jovem.

Ensaio	t_{90} (min)	t_f (min)	V estimada (mm/min)
CD01	0.816	10.372	0.482
CD02	0.240	3.056	1.636
CD03	0.15	1.905	2.624

As velocidades calculadas para ambos os solos foram maiores que a mínima considerada para este tipo de ensaios, por tanto adoptou-se a velocidade de 0.127 mm/min com um tempo de ruptura de 2 horas e o deslocamento de 15 mm.

6.1.2. Tempo de Ruptura para Ensaio não saturados.

Ho e Fredlund (1982) propuseram uma metodologia para o calculo do tempo de ruptura para ensaios de cisalhamento em condições não saturadas.

$$t_f = \frac{H^2}{\eta \cdot C_v^w (1 - U)} \quad (6.2)$$

Onde:

T_f : Tempo de ruptura;

H_d : Altura de drenagem do corpo de prova;

C_v : Coeficiente de adensamento;

U : Grau meio de dissipação de poropressão (95%).

η : $0,75/(1+3/\lambda)$ para drenagem simples;

C_v^w : $\frac{K_w}{\square (\rho_w \cdot g \cdot m_2^w)}$, coeficiente de adensamento do solo não saturado.

K_w : coeficiente de permeabilidade do solo não saturado relacionado com a fase líquida.

- ρ_w : densidade da água (1 g/cm³)
 g : aceleração da gravidade (9.81 m/s²)
 m^w : inclinação da curva características (θ vs. sucção mátrica).
 λ : $K_d \cdot \frac{d}{K_w} \cdot Ld$, fator de impedância;
 K_d : coeficiente de permeabilidade do DAVE;
 d : comprimento de drenagem ($d=2H$);
 L_d : espessura do DAVE;
 H : metade da espessura da amostra;
 U : grau médio de dissipação do excesso de poropressão.

Entre os cálculos prévios à determinação do tempo de ruptura foi necessário estimar a permeabilidade não saturada, para isso foi utilizado o procedimento proposto por Fredlund e Xing (1994), onde a partir dos parâmetros de ajuste da curva característica é determinada a função permeabilidade não saturada.

Para o cálculo da permeabilidade não saturada Fredlund e Xing (1994) propuseram as seguintes equações. (6.3, 6.4, 6.5, 6.6).

$$K_r(\psi) = \frac{K_w(\psi)}{K_s} = \frac{\int_{\ln(\psi)}^b \frac{\theta(e^y) - \theta(\psi)}{e^y} \theta'(e^y) dy}{\int_{\ln(\psi_{aev})}^b \frac{\theta(e^y) - \theta_s}{e^y} \theta'(e^y) dy} \quad (6.3)$$

Onde:

$K_r(\psi)$: Coeficiente de permeabilidade relativa em função da sucção.

$K_w(\psi)$: Coeficiente de permeabilidade não saturada em função da sucção.

K_s : Coeficiente de permeabilidade saturado.

$$\sum_{i=j}^N \frac{\theta(e^{y_i}) - \theta_s}{e^{y_i}} \theta'(e^{y_i})$$

Sendo:

$a = \ln(\psi_{aev})$, limite inferior de integração.

$b = \ln(1000000)$, limite superior de integração.

O intervalo (a,b) é dividido em N subintervalos de mesmo tamanho onde Δy é comprimento desse subintervalo, logo:

$$a=y_1 < y_2 < \dots < y_N < y_{N+1}=b$$

$$\Delta y = \frac{b - a}{N}$$

y_i =ponto médio do intervalo (y_i, y_{i+1})

$$\theta'(\psi) = C(\psi) \frac{\theta_i}{\{\ln[e+(\psi/a)^n]\}^m} - C(\psi) \frac{\theta_i}{\{\ln[e+(\psi/a)^n]\}^{m+1}} \frac{m \left(\frac{\psi}{a}\right)}{a[e+(\psi/a)^n]} \quad (6.5)$$

$$C(\psi) = \frac{-1}{(C_r + \psi) \ln\left(1 + \frac{100000}{C_r}\right)} \quad (6.6)$$

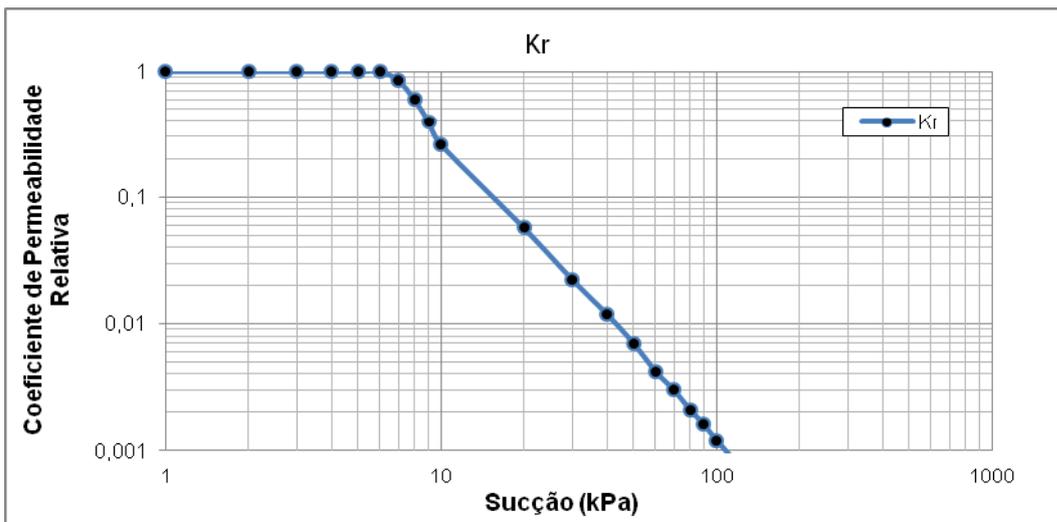


Figura 6.1 – Coeficiente de Permeabilidade relativa versus sucção mátrica para o solo Residual Jovem.

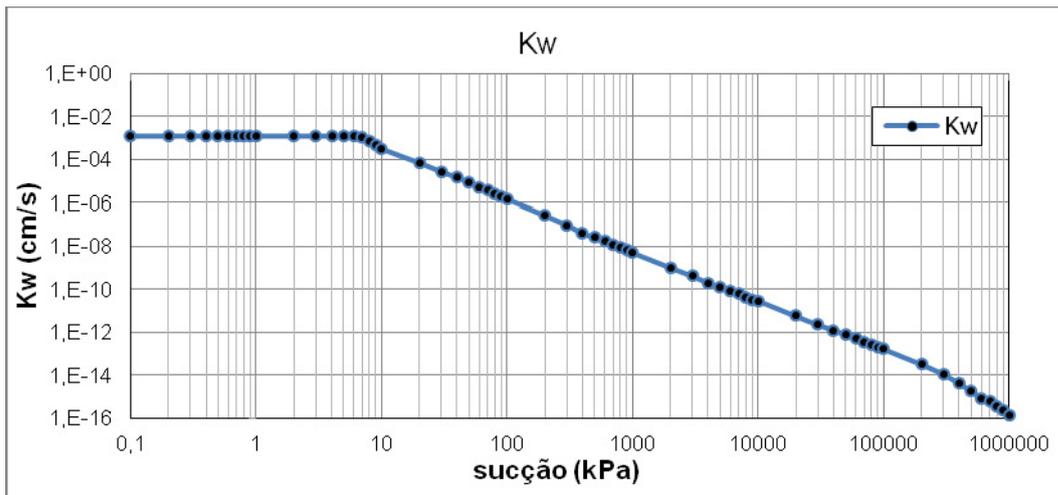


Figura 6.2 – Previsão da função permeabilidade não saturada para o solo Residual Jovem.

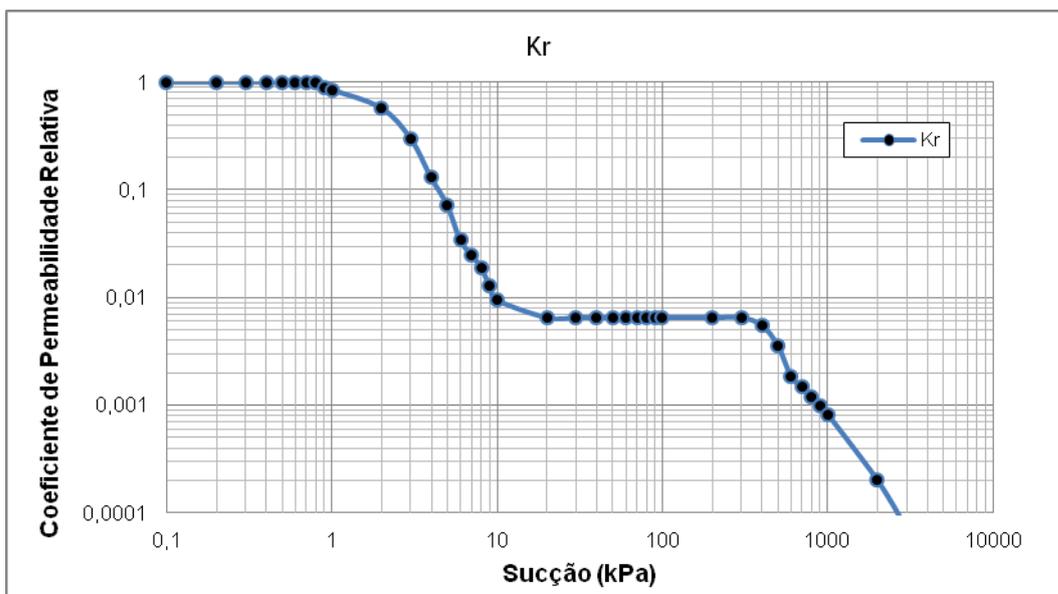


Figura 6.3 – Coeficiente de Permeabilidade relativa versus sucção mátrica para o Colúvio.

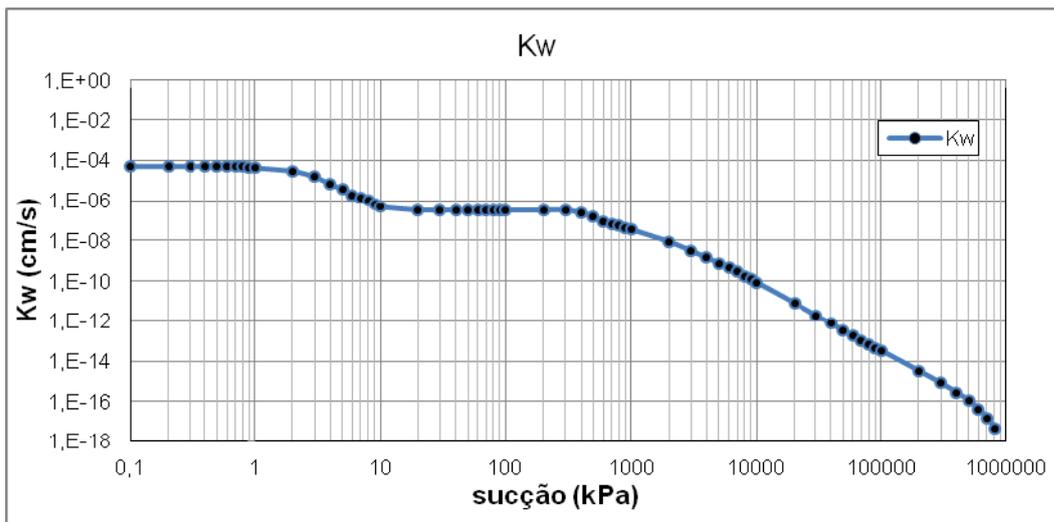


Figura 6.4 – Previsão da função permeabilidade não saturada para o solo o Colúvio.

Tabela 6.3 Apresenta as velocidades calculadas para os ensaios de cisalhamento direto com sucção controlada para o solo Residual Jovem.

$(u_a - u_w)$ (kPa)	L_d (m)	d (m)	K_w (m/s)	K_d (m/s)	m_2^w (kPa ⁻¹)	λ
60	0.0073	0.0213	5.38E-08	7.80E-11	9.04E-05	4.23E-03
120	0.0073	0.0213	1.54E-08	7.80E-11	9.04E-05	1.48E-02
200	0.0073	0.0213	2.82E-09	7.80E-11	9.04E-05	8.08E-02

$(u_a - u_w)$ (kPa)	η	C_v^w (m ² /s)	t_f (s)	t_f (min)	Velocidade para $\delta_h=5$ mm (mm/min)	Velocidade para $\delta_h=10$ mm (mm/min)
60	1.06E-03	6.06E-05	35403.70	590.06	0.008	0.01695
120	3.69E-03	1.73E-05	35528.42	592.14	0.008	0.01689
200	1.97E-02	3.18E-06	36306.24	605.10	0.008	0.01653

Tabela 6.4 Apresenta as velocidades calculadas para os ensaios de cisalhamento direto com sucção controlada para o Colúvio.

(ua-uw) (kpa)	Ld (m)	d (m)	Kw (m/s)	Kd (m/s)	m_2^w (kPa ⁻¹)	λ
60	0.0073	0.0213	3.33E-09	7.80E-11	1.37E-04	6.83E-02
120	0.0073	0.0213	3.33E-09	7.80E-11	1.37E-04	6.83E-02
200	0.0073	0.0213	3.33E-09	7.80E-11	1.37E-04	6.83E-02

(ua-uw) (kpa)	η	C_v^w (m ² /s)	t_f (s)	t_f (min)	Velocidade para $\delta_h=5$ mm (mm/min)	Velocidade para $\delta_h=10$ mm (mm/min)
60	1.67E-02	2.48E-06	54729.2	912.15	0.0055	0.01096
120	1.67E-02	2.48E-06	54729.2	912.15	0.0055	0.01096
200	1.67E-02	2.48E-06	54729.2	912.15	0.0055	0.01096

A velocidade de cisalhamento adotada para um deslocamento de 10 mm, para ambos os solos, foi de 0.00975 mm/min.

6.2. Ensaio de Cisalhamento direto na condição submersa

Depois de calculadas as velocidades de cisalhamento para ambas condições foram executados os ensaios de cisalhamento. No presente item são apresentados os resultados obtidos a partir de uma série de 3 ensaios de cisalhamento direto convencional na condição submersa.

As tabelas 6.5 e 6.6 detalham os índices físicos obtidos e calculados das amostras no início, após o adensamento e no final do ensaio.

Tabela 6.5 – Índices Físicos no início, após o adensamento e no final do ensaio – solo Residual Jovem.

Série	Ensaio	Tensão Normal (kPa)	Índices físicos iniciais					Após o adensamento		Final
			γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	w_{real} (%)	e	s(%)	e	$\Delta e/(1+e_o)$	
I	CD 1	40,00	1,60	1,24	28,48	1,22	0,65	1,17	0,02	48,70
	CD 2	80,00	1,61	1,26	27,85	1,19	0,65	1,08	0,05	43,69
	CD 3	120,00	1,59	1,21	31,27	1,27	0,68	1,10	0,08	44,45

Tabela 6.6 – Índices Físicos no início, após do adensamento e no final do ensaio – Colúvio.

Série	Ensaio	Tensão Normal (kPa)	Índices físicos iniciais					Após o adensamento		Final
			γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	w_{real} (%)	e	s(%)	e	$\Delta e/(1+e_o)$	
I	CD 1	40,00	1,64	1,28	27,84	1,07	0,69	1,00	0,04	39,82
	CD 2	80,00	1,61	1,26	27,85	1,11	0,67	1,00	0,05	43,69
	CD 3	120,00	1,60	1,22	31,27	1,18	0,70	0,96	0,10	40,19

As figuras 6.5 e 6.6 apresentam as curvas tensão vs. deslocamento horizontal e deslocamento vertical vs. deslocamento horizontal, do solo Residual Jovem e do Colúvio respectivamente. Notou-se, nas curvas obtidas um enrijecimento dos dois solos ao longo da fase de cisalhamento, eles não apresentam picos de resistência; além disso, ambos os solos se comprimiram durante o ensaio.

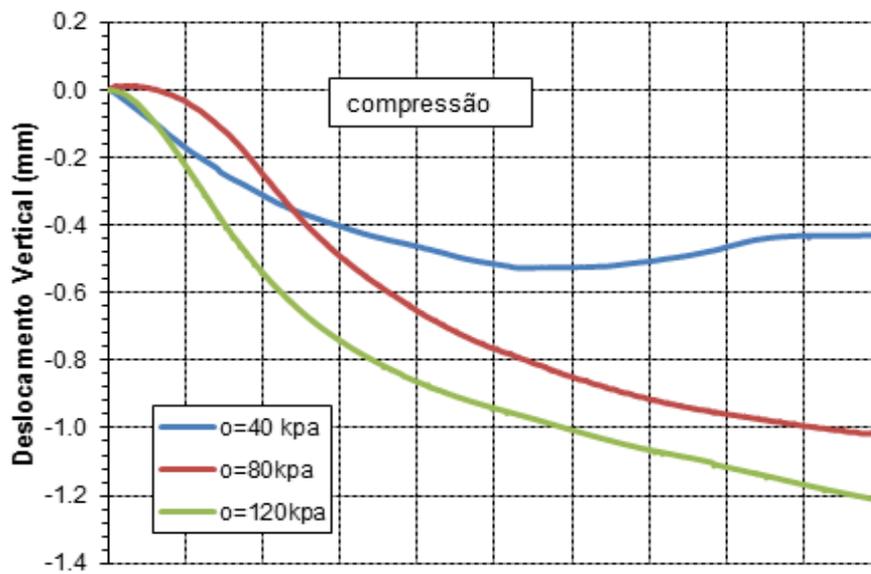
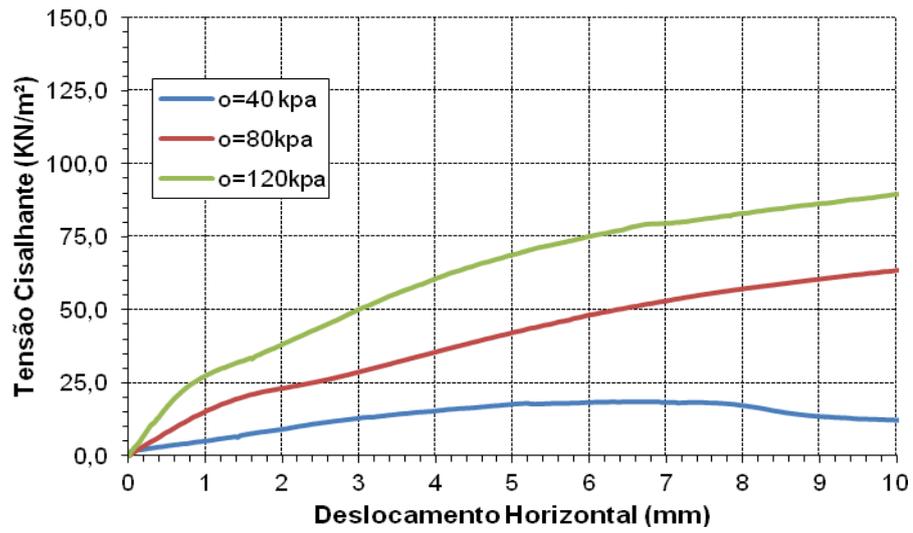


Figura 6.5 – Ensaio de cisalhamento Direto – curva tensão – deslocamento, do solo Residual jovem.

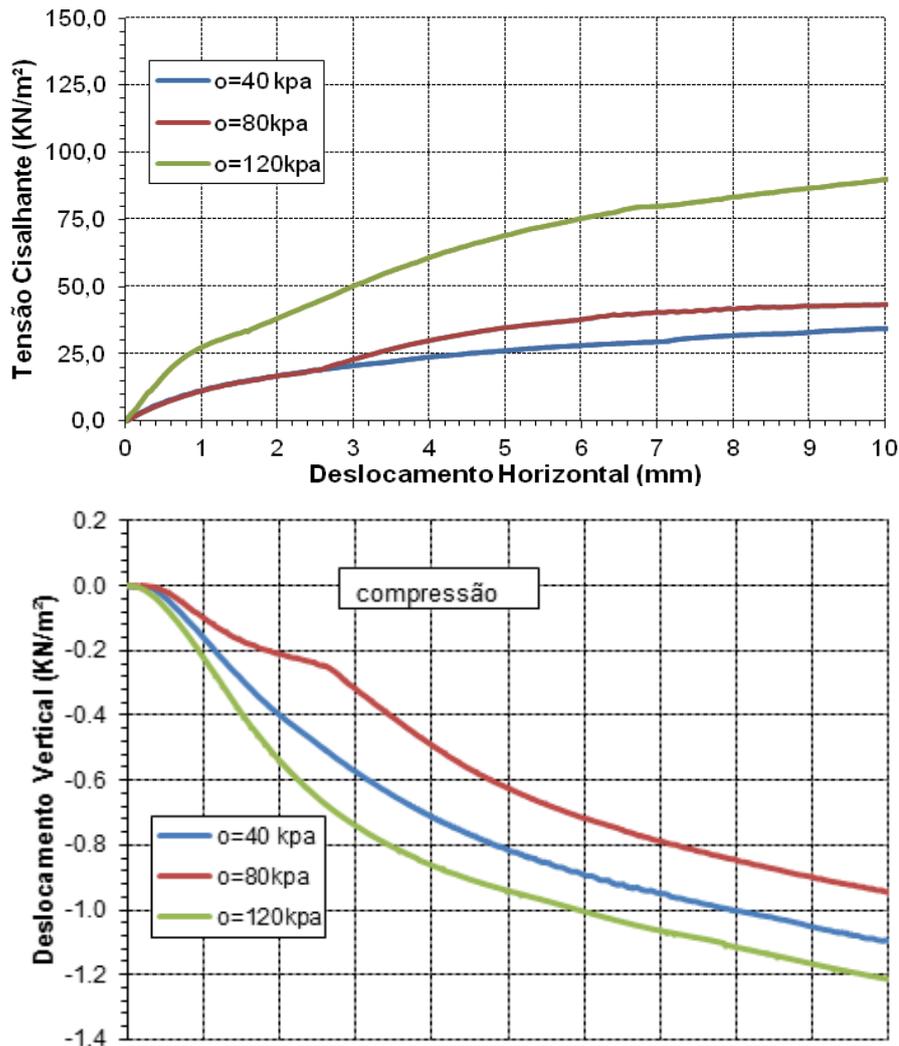


Figura 6.6 – Ensaio de cisalhamento Direto – curva tensão – deslocamento, do Colúvio.

6.3. Ensaio de Cisalhamento direto na condição não saturada

Apresentam-se os resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados no equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada da PUC-Rio. Foram executados 9 ensaios divididos em 3 séries em função das tensões normais e sucção mátrica aplicadas, para os dois solos estudados. As tabelas 6.7 e 6.8 mostram os índices físicos dos corpos de prova no início, após o adensamento e no final do cisalhamento.

Tabela 6.7 – Índices Físicos no início, após o adensamento e no final do ensaio do solo Residual Jovem.

Serie	Ensaio	Tensão Normal Líquida (kpa)	Sucção Matrica (kpa)	Índices físicos iniciais					Após o adensamento		Final
				γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	wcampo(%)	e	s(%)	e	$\Delta e/(1+e_o)$	w(%)
I	CDSC 1	40.00	60.00	1.48	1.20	23.32	1.30	0.50	1.18	0.053	27.55
	CDSC 2	40.00	120.00	1.54	1.25	23.32	1.21	0.53	1.03	0.080	24.15
	CDSC 3	40.00	200.00	1.52	1.23	23.32	1.24	0.52	1.09	0.068	22.09
II	CDSC 4	80.00	60.00	1.48	1.21	22.01	1.28	0.48	1.14	0.062	28.55
	CDSC 5	80.00	120.00	1.54	1.26	22.01	1.19	0.51	0.98	0.097	24.99
	CDSC 6	80.00	200.00	1.56	1.28	22.01	1.16	0.52	1.00	0.075	21.09
III	CDSC 7	120.00	60.00	1.57	1.28	22.01	1.15	0.53	0.99	0.073	28.29
	CDSC 8	120.00	120.00	1.63	1.28	27.85	1.16	0.66	0.95	0.099	25.92
	CDSC 9	120.00	200.00	1.63	1.28	27.85	1.16	0.66	0.96	0.094	22.78

Tabela 6.8 – Índices Físicos no início, após o adensamento e no final do ensaio do Colúvio.

Serie	Ensaio	Tensão Normal Líquida (kpa)	Sucção Matrica (kpa)	Índices físicos iniciais					Após o adensamento		final
				γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	wcampo(%)	e	s(%)	e	$\Delta e/(1+e_o)$	w(%)
I	CDSC 1	40	60	1.60	1.30	23.31	1.05	0.59	0.87	0.086	28.03
	CDSC 2	40	120	1.54	1.25	22.98	1.12	0.54	0.97	0.070	26.00
	CDSC 3	40	200	1.64	1.33	23.38	1.01	0.62	0.83	0.087	24.86
II	CDSC 4	80	60	1.54	1.25	22.75	1.12	0.54	1.03	0.045	26.54
	CDSC 5	80	120	1.49	1.21	22.61	1.19	0.50	1.08	0.051	25.79
	CDSC 6	80	200	1.64	1.34	22.21	0.98	0.60	0.91	0.038	24.60
III	CDSC 7	120	60	1.59	1.30	22.30	1.05	0.57	0.92	0.063	26.78
	CDSC 8	120	120	1.63	1.32	23.38	1.01	0.62	0.83	0.091	27.62
	CDSC 9	120	200	1.66	1.35	22.51	0.97	0.62	0.78	0.093	26.48

6.3.1. Ensaio com Tensão Normal Líquida Constante

Neste item apresentam-se primeiramente as curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio das 3 series antes mencionadas correspondentes à fase de equalização e adensamento respectivamente. Notou-se que para os dois solos o tempo necessário para a equalização foi maior que para o adensamento.

Seguidamente se mostra as curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação de volume de água que sai ou entra na amostra em função do deslocamento horizontal. Nestas curvas observou-se que quanto maior a sucção, maior é a resistência ao cisalhamento. Este mesmo comportamento de enrijecimento do material com relação aos acréscimos de sucção foi refletido nas curvas de variação de volume, observando-se que quanto maior é a sucção aplicada, menor é a contração do solo.

6.3.1.1. Série I

A série 1 é composta de 3 ensaios, os quais foram executados mantendo uma tensão normal líquida ($\sigma_n - u_a$) de 40 kPa, enquanto que a sucção mátrica ($u_a - u_w$) foi variada para os valores de 60, 120 e 200 kPa.

A figura 6.7 apresenta as curvas correspondentes às fases de equalização e adensamento para o solo Residual Jovem.

A figura 6.8 mostra as curvas correspondentes à fase de cisalhamento para o solo Residual Jovem.

A figura 6.9 apresenta as curvas correspondentes às fases de equalização e adensamento, para o Colúvio.

A figura 6.10 mostra as curvas correspondentes à fase de cisalhamento para o Colúvio.

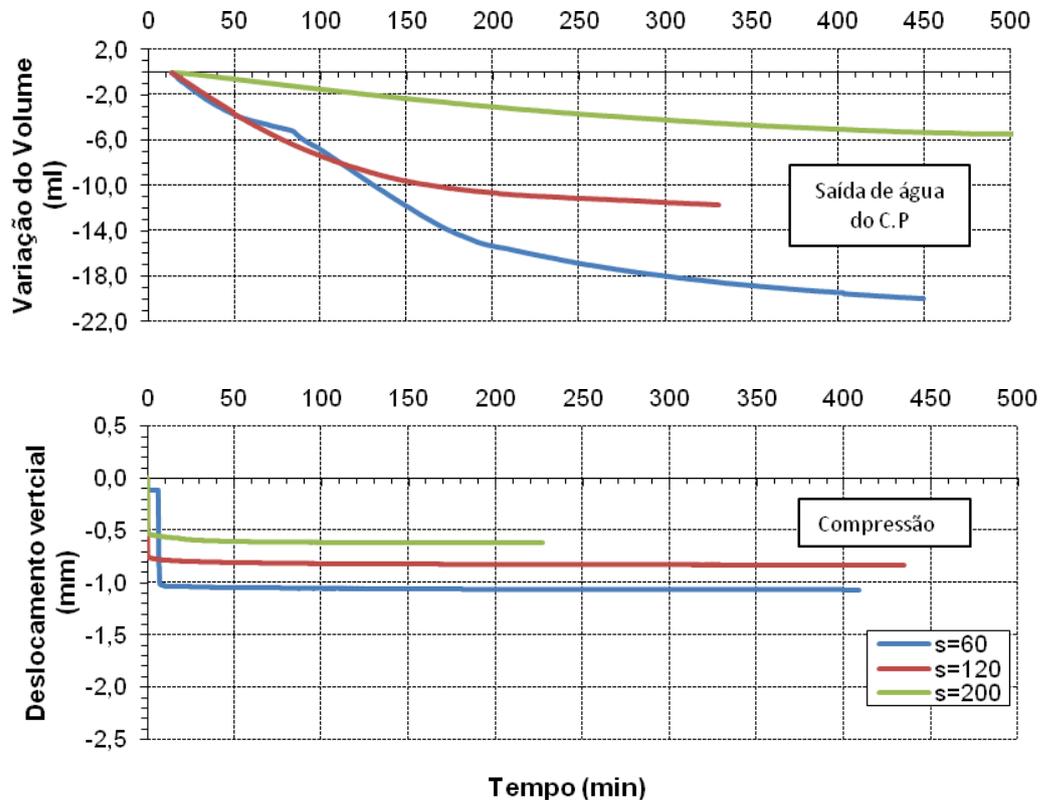


Figura 6.7 – Curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio da série I – solo Residual Jovem.

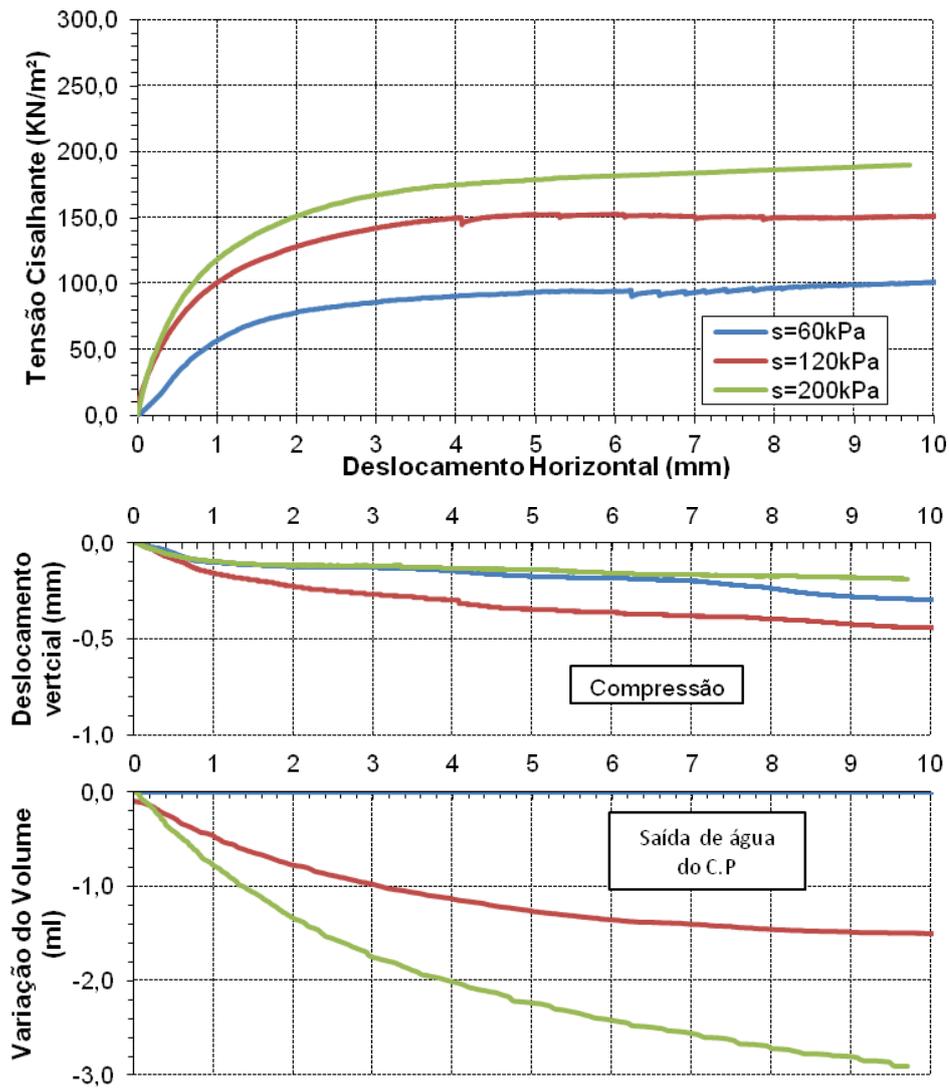


Figura 6.8 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série I – solo Residual Jovem.

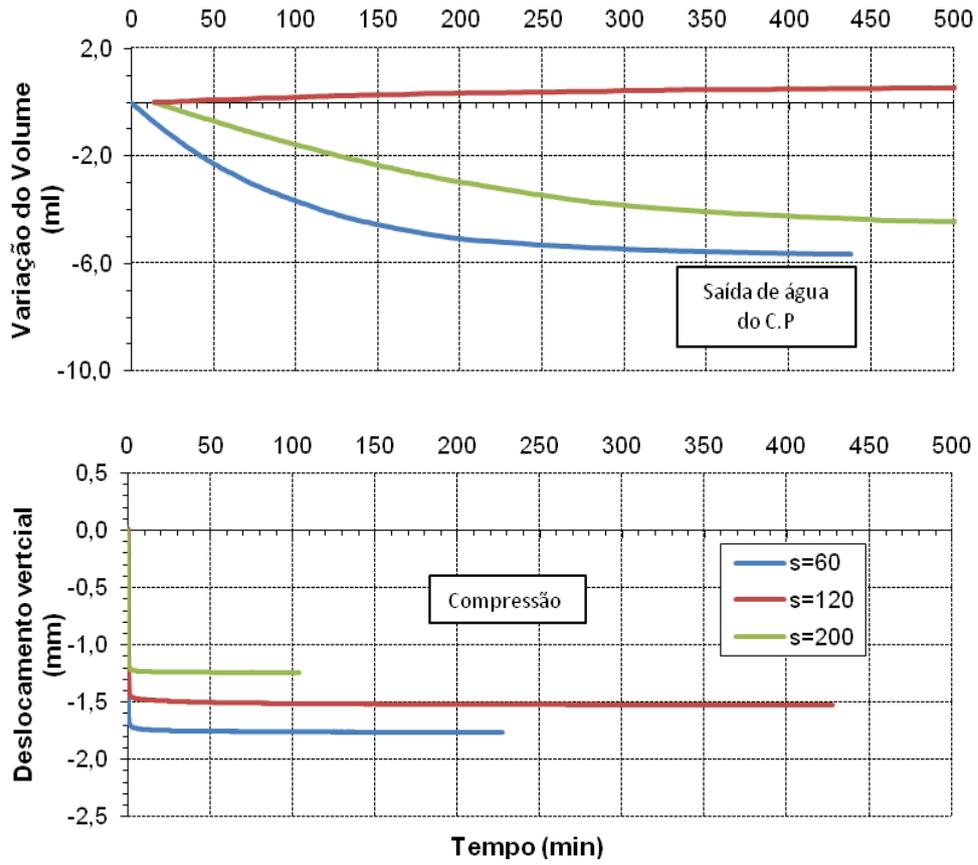


Figura 6.9 – Curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio da série I – Colúvio.

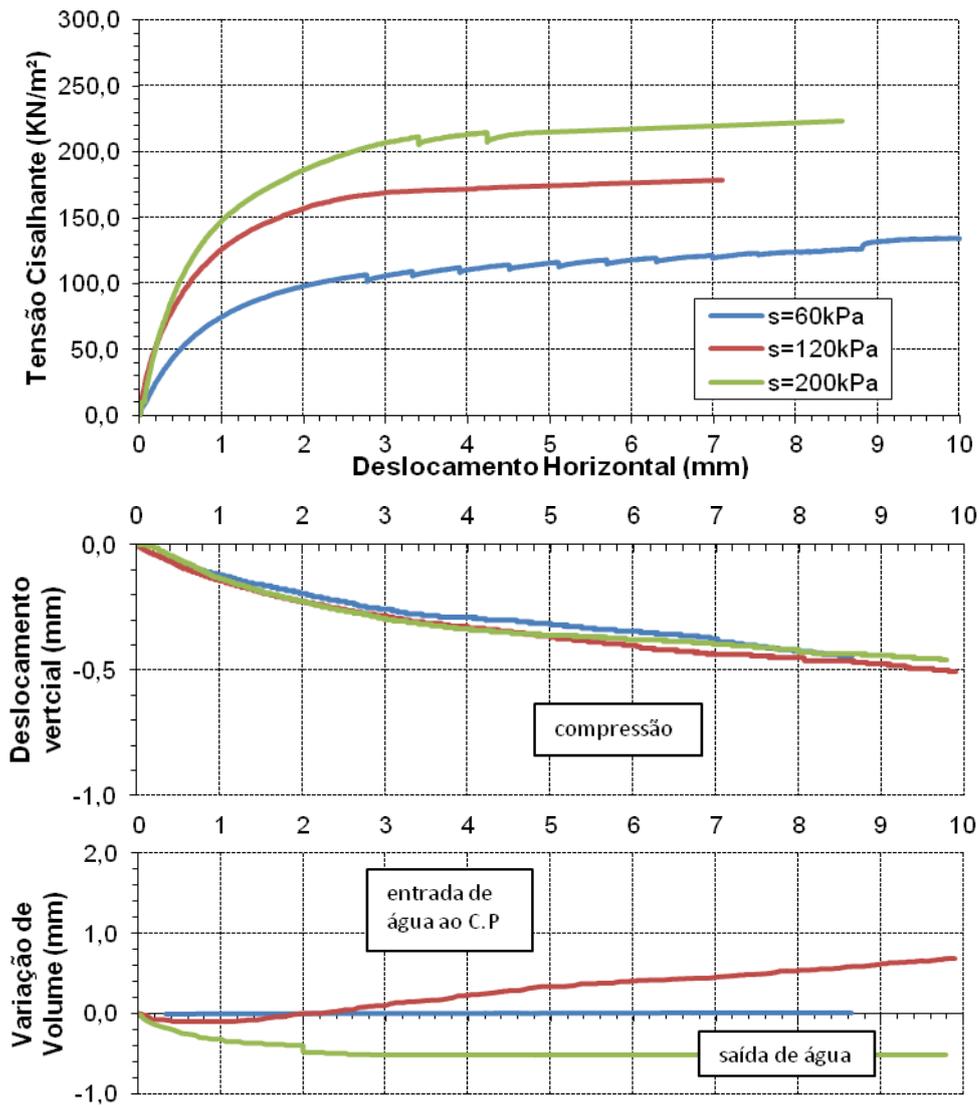


Figura 6.10 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série I – Colúvio.

6.3.1.2. Série II

A série 2 é composta de 3 ensaios, os quais foram executados mantendo uma tensão normal líquida ($\sigma_n - u_a$) de 80 kPa, enquanto que a sucção mátrica ($u_a - u_w$) foi variada para os valores de 60, 120 e 200 kPa.

A figura 6.11 apresenta as curvas correspondentes às fases de equalização e adensamento, para o solo Residual Jovem.

A figura 6.12 mostra a curva correspondente à fase de cisalhamento para o solo Residual Jovem.

A figura 6.13 apresenta as curvas correspondentes às fases de equalização e adensamento, para o solo Colúvio.

A figura 6.14 mostra a curva correspondente à fase de cisalhamento para o Colúvio.

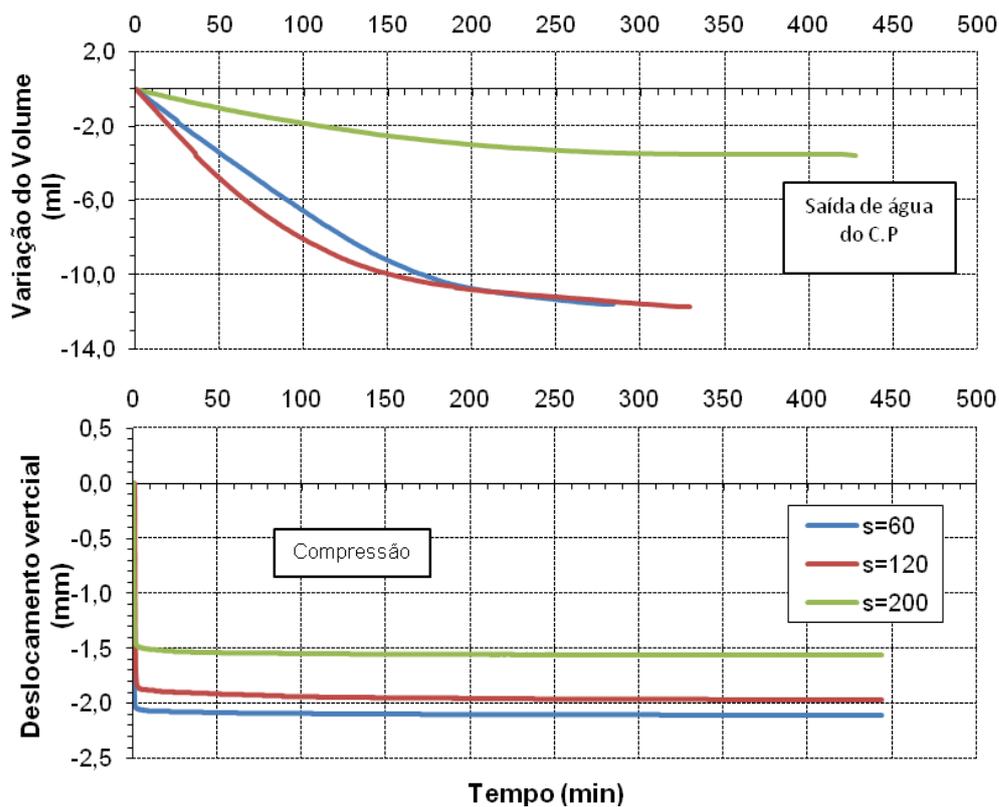


Figura 6.11 – Curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio da série II – solo Residual Jovem.

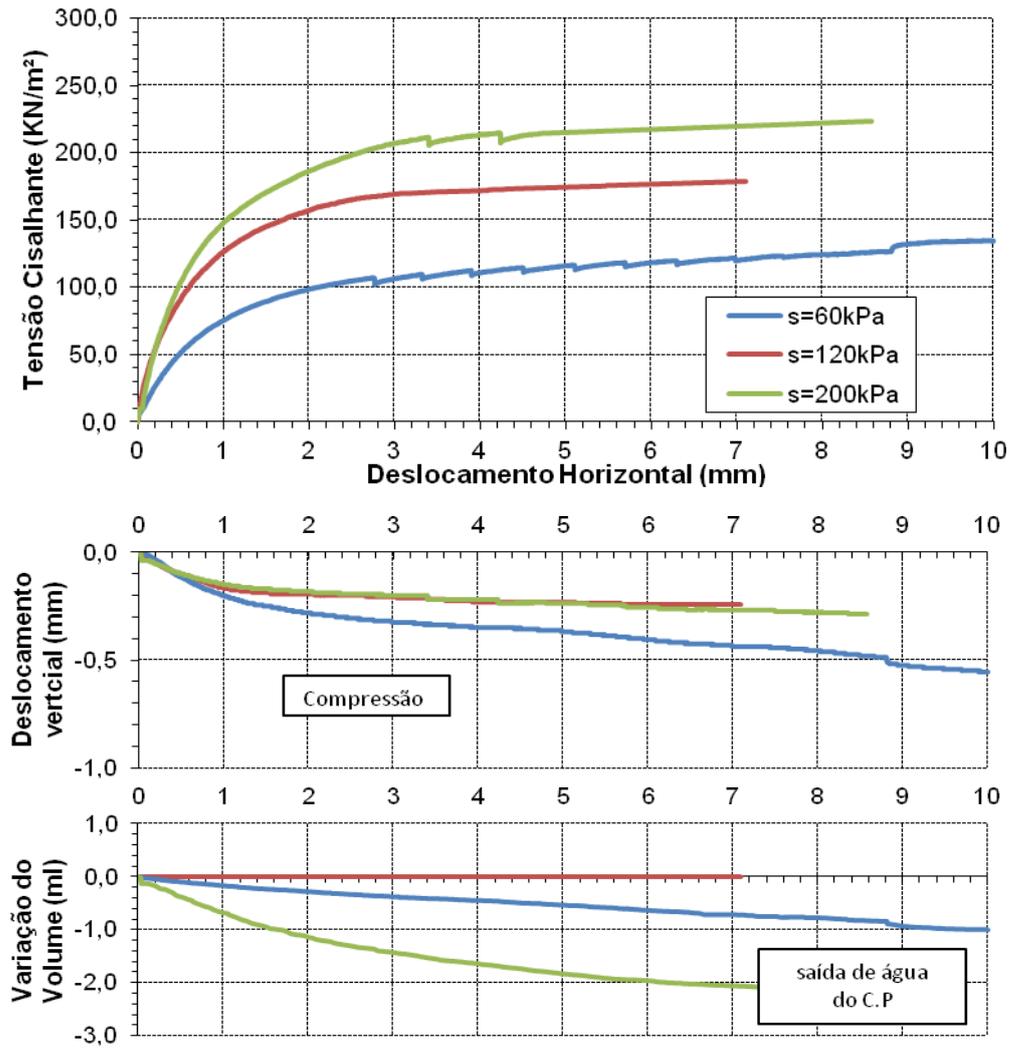


Figura 6.12 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série II – solo Residual Jovem.

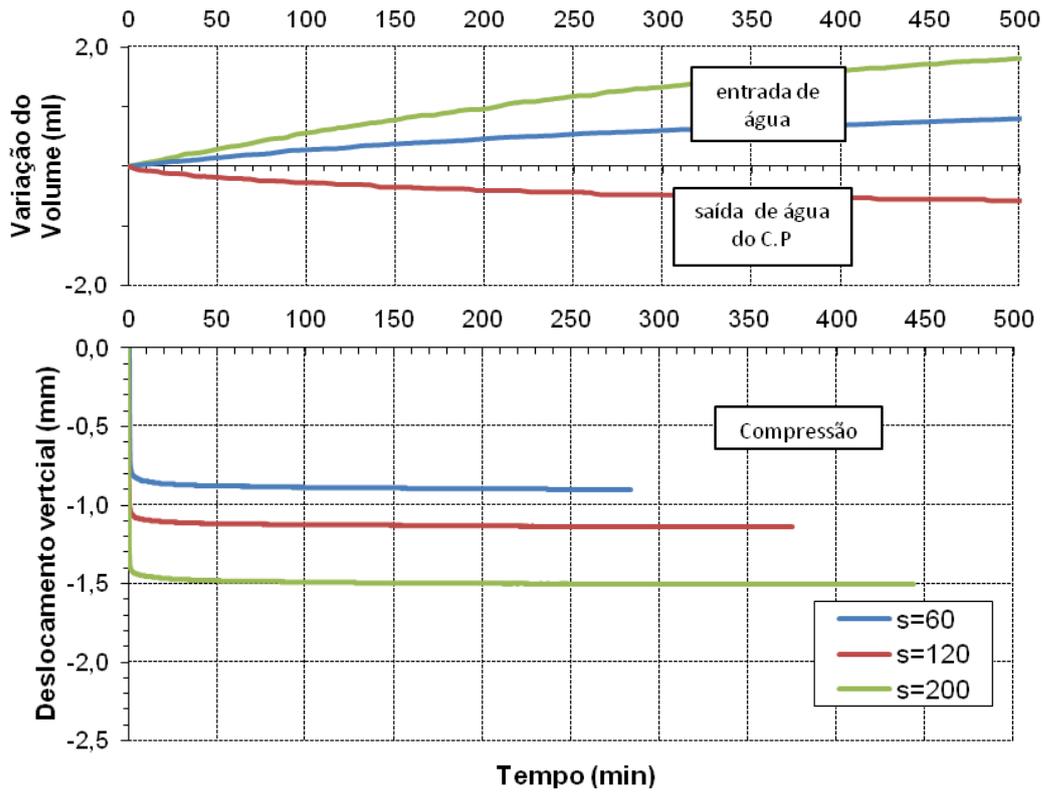


Figura 6.13 – Curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio da série II – Colúvio.

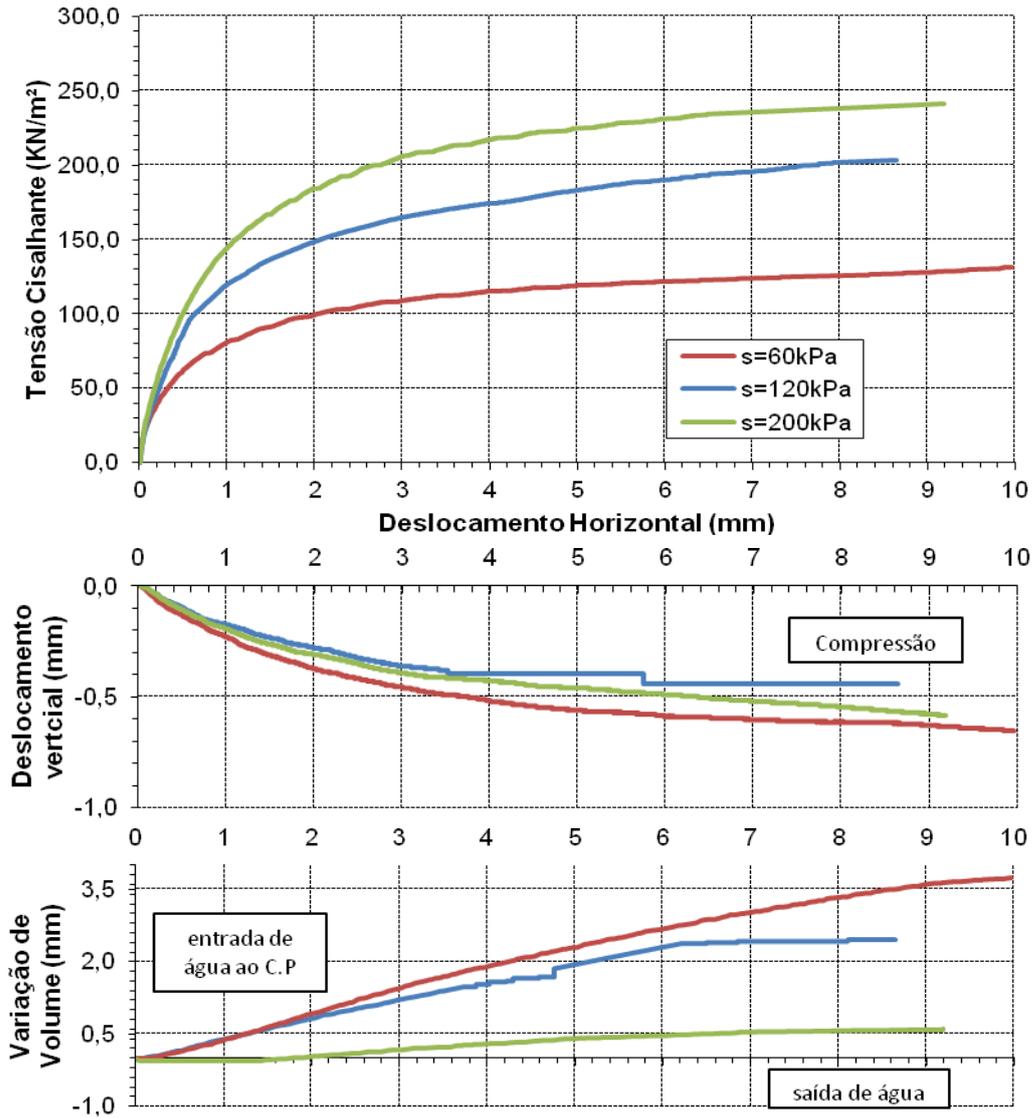


Figura 6.14 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série II – Colúvio.

6.3.1.3. Série III

A série 3 é composta de 3 ensaios, os quais foram executados mantendo uma tensão normal líquida ($\sigma_n - u_a$) de 120 kPa, enquanto que a sucção mátrica ($u_a - u_w$) foi variada para os valores de 60, 120 e 200 kPa.

A figura 6.15 apresenta as curvas correspondentes às fases de equalização e adensamento, para o solo residual jovem.

A figura 6.16 mostra as curvas correspondentes à fase de cisalhamento para o solo Residual Jovem.

A figura 6.17 apresenta as curvas correspondentes às fases de equalização e adensamento, para o Colúvio.

A figura 6.18 mostra as curvas correspondentes à fase de cisalhamento para o Colúvio.

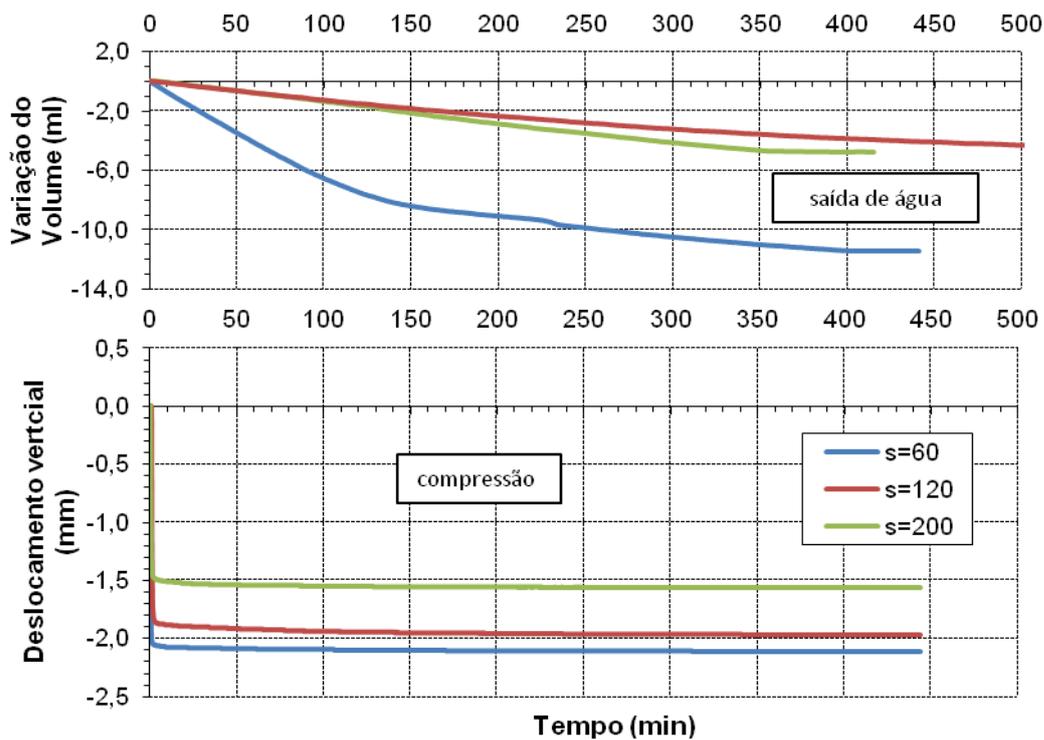


Figura 6.15 – Curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio da série III – solo Residual Jovem.

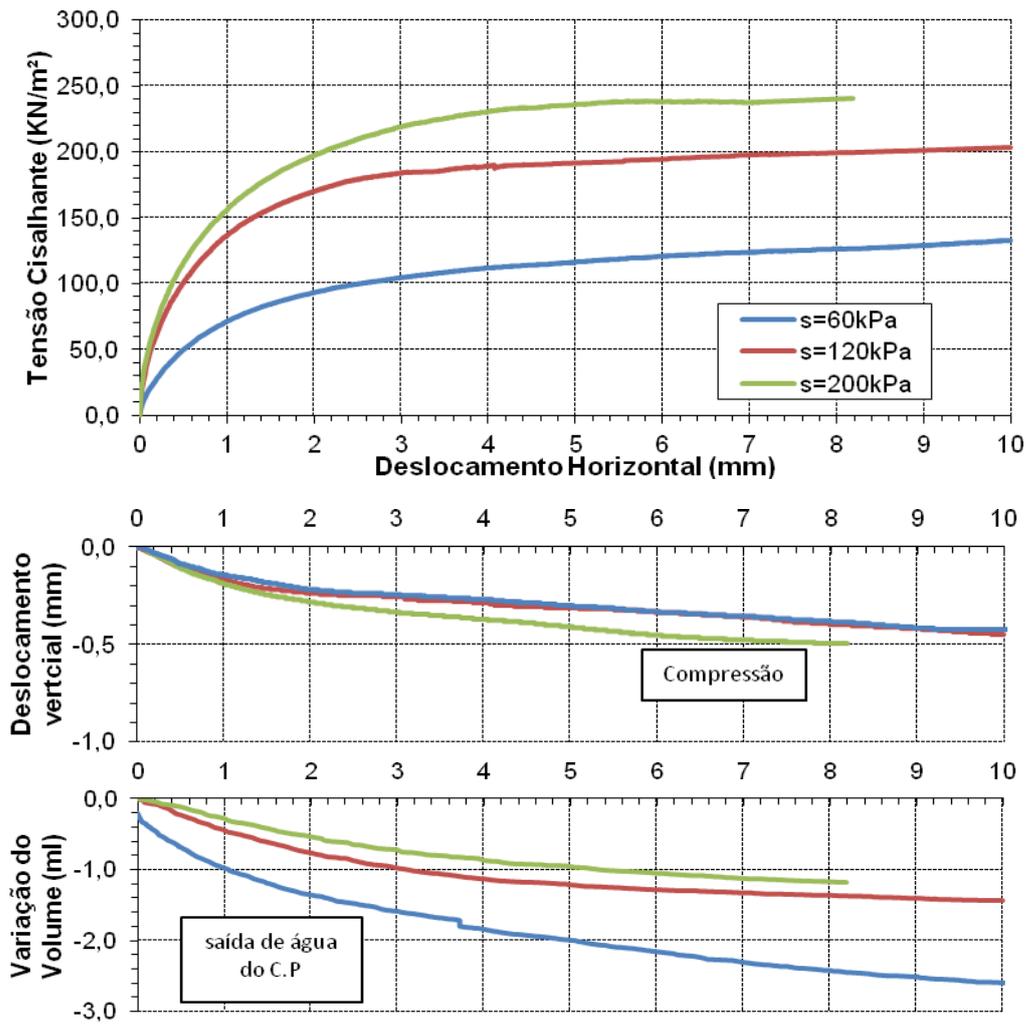


Figura 6.16 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série III – solo Residual Jovem.

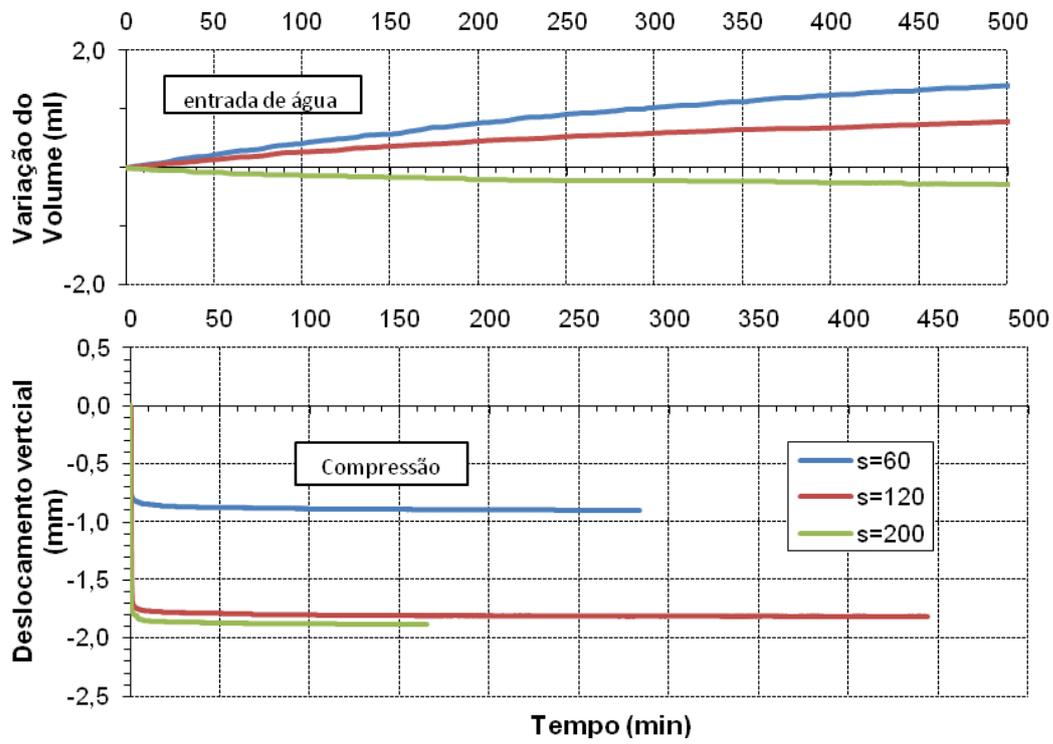


Figura 6.17 – Curvas de deslocamento vertical e variação volumétrica de água que sai ou entra no C.P em função do tempo de ensaio da série III – Colúvio.

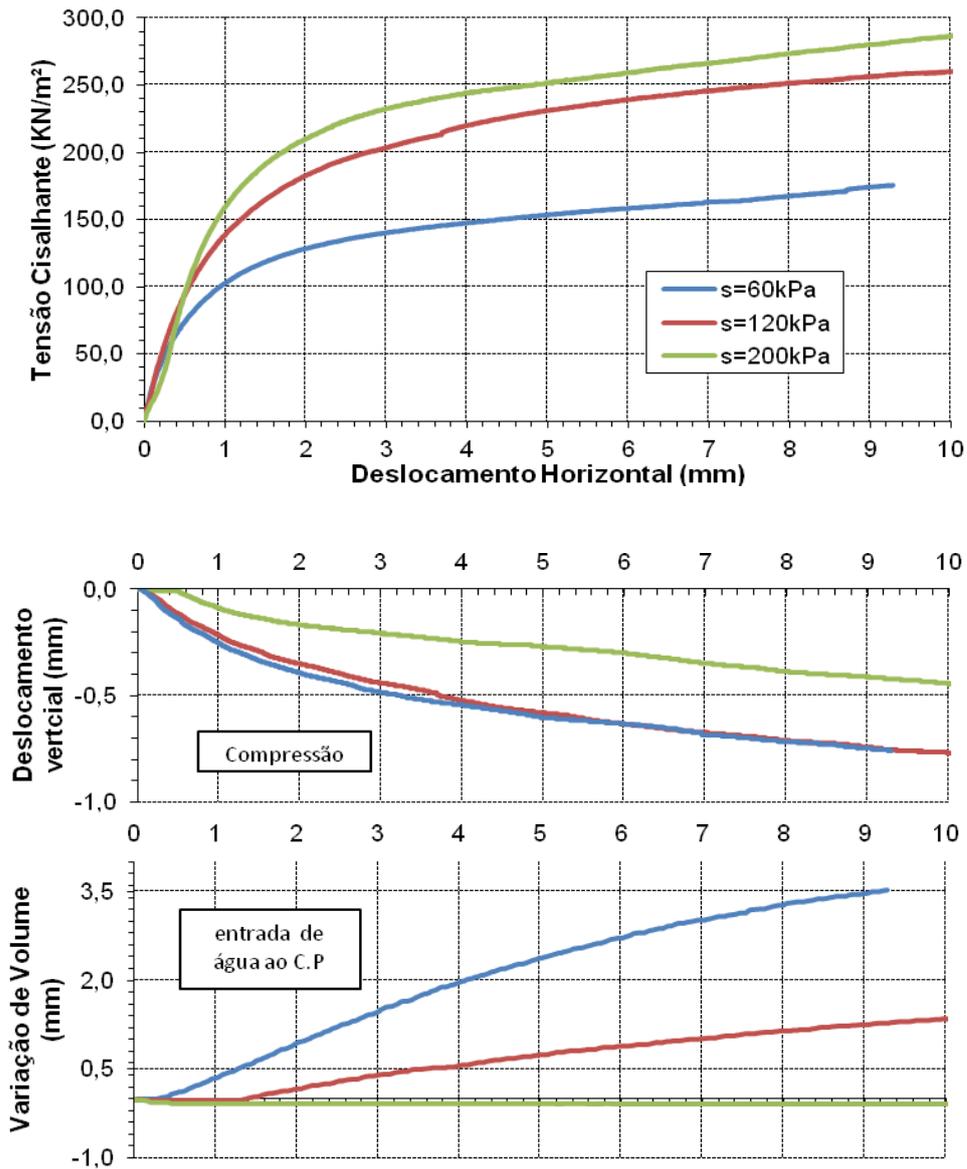


Figura 6.18 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série III – Colúvio.

6.3.2. Ensaio de Cisalhamento em Função da Tensão Normal Líquida

Com o objetivo de observar o comportamento da resistência ao cisalhamento com relação à tensão normal líquida foram reagrupadas as séries de ensaios antes apresentados mantendo agora a sucção mátrica constante e variando a tensão normal líquida. A tabela 6.9 mostra as novas séries de ensaios que foram aplicadas para o solo Residual Jovem e para o Colúvio. Além disso, as curvas tensão cisalhante versus descolamento horizontal, correspondentes a estas novas séries, são apresentadas nas figuras 6.19 à 6.24.

Tabela 6.9 – Série de Ensaio em função da Tensão Normal líquida aplicada.

Série	Ensaio	Sucção Mátrica (kPa)	Tensão Normal Líquida (kPa)
I	CDSC 1	60	40
	CDSC 2	60	80
	CDSC 3	60	120
II	CDSC 4	120	40
	CDSC 5	120	80
	CDSC 6	120	120
III	CDSC 7	200	40
	CDSC 8	200	80
	CDSC 9	200	120

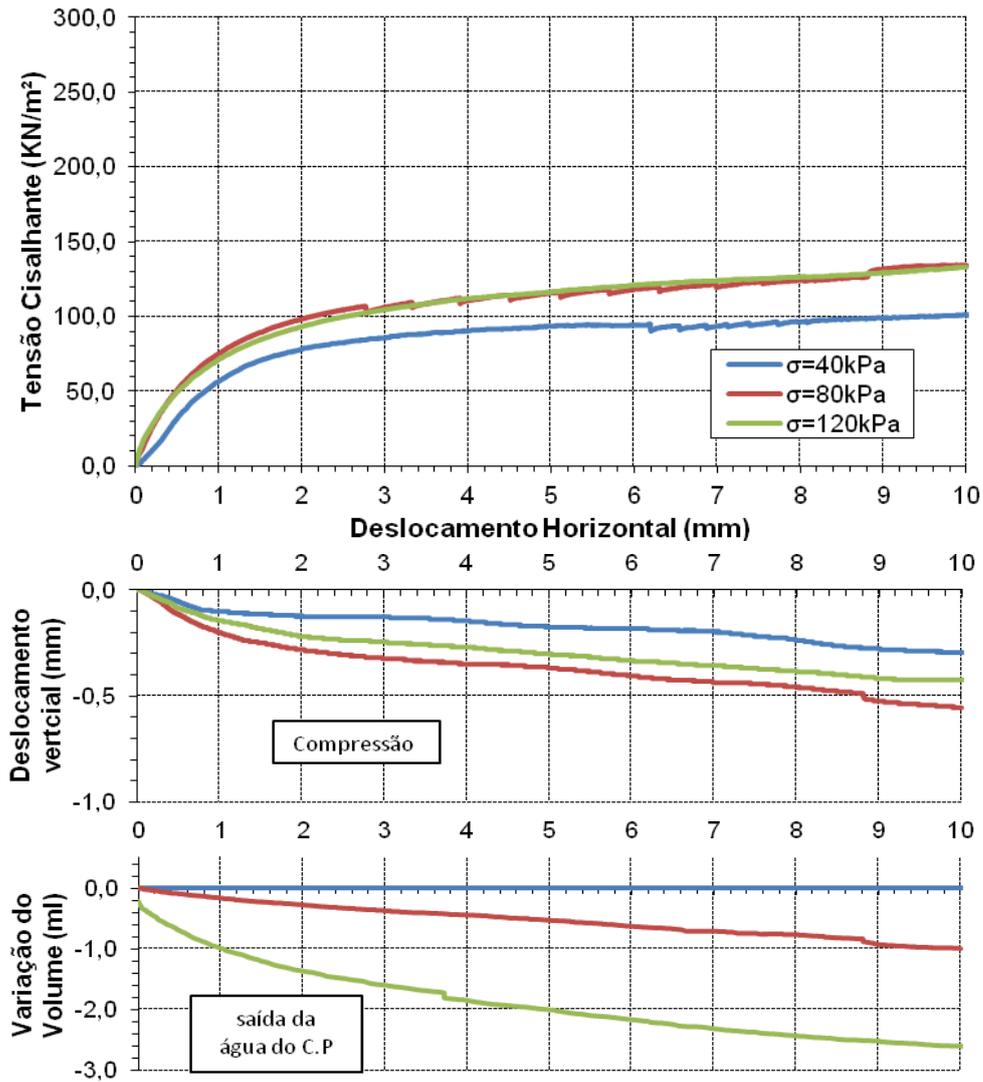


Figura 6.19 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do cisalhamento da série I – solo Residual Jovem.

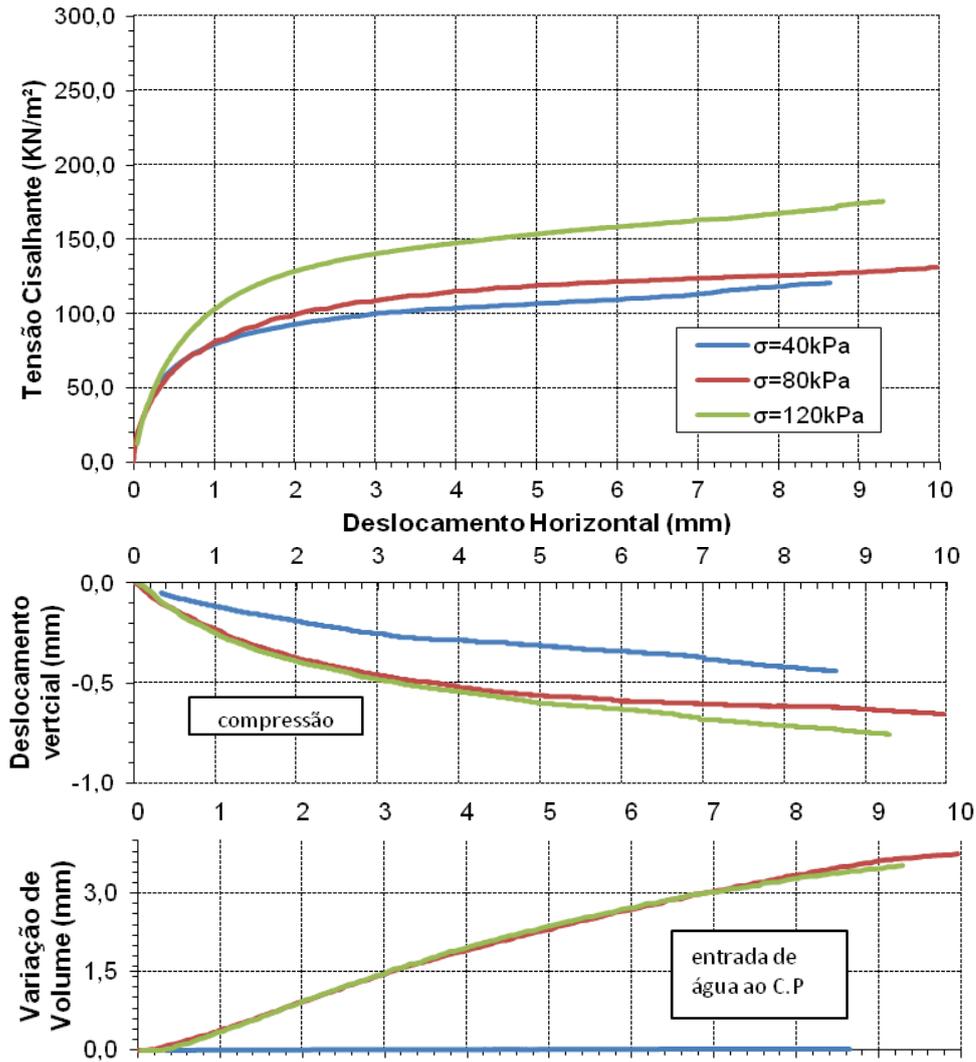


Figura 6.20 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série I – Colúvio.

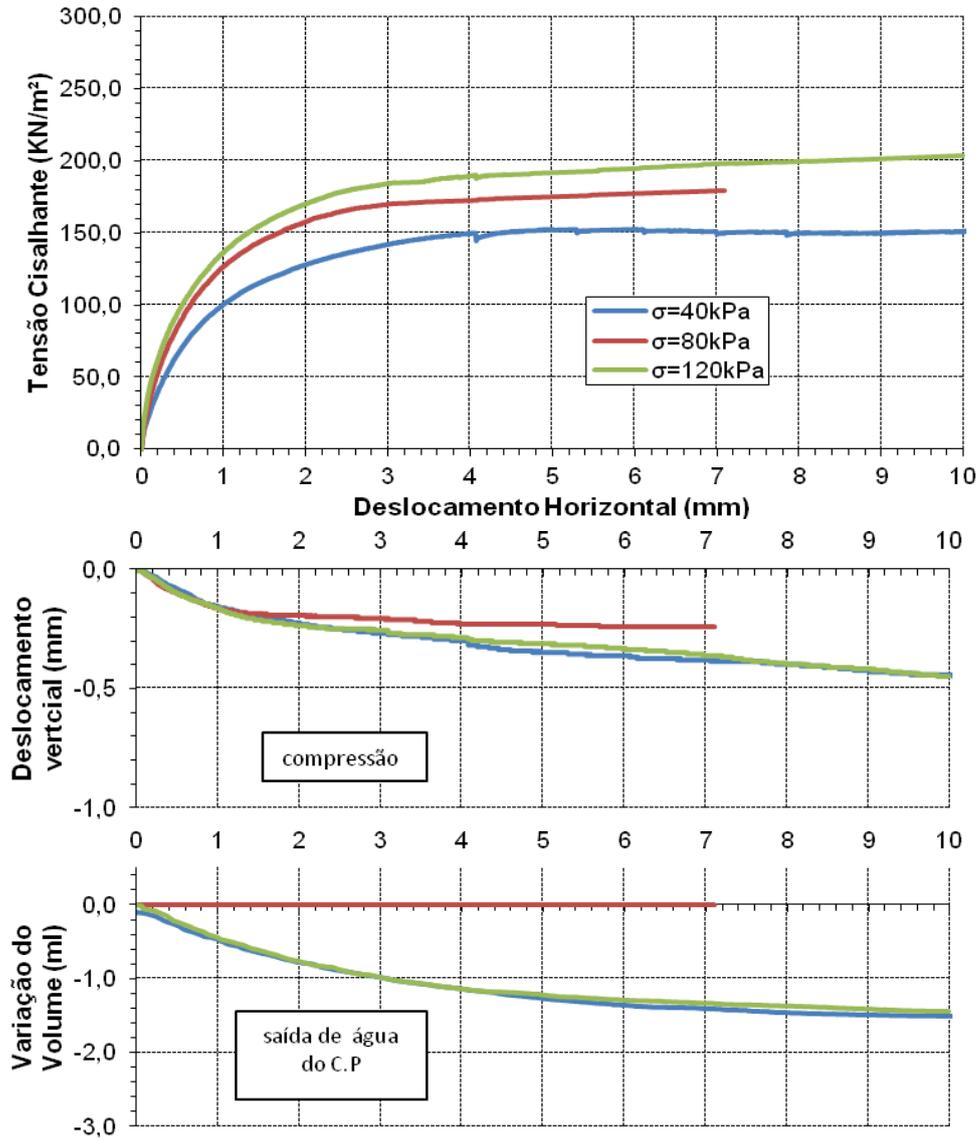


Figura 6.21 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série II – solo Residual Jovem.

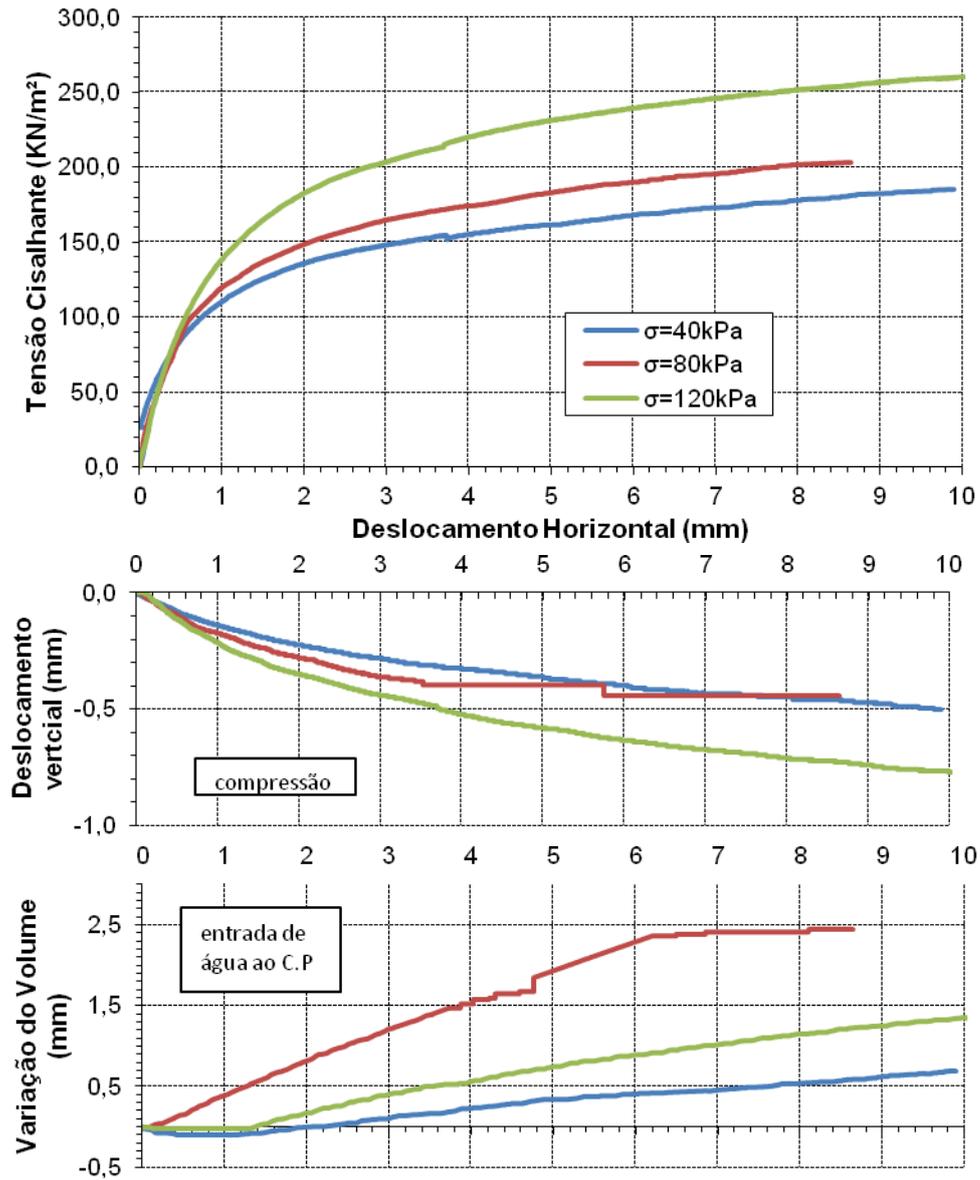


Figura 6.22 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série II – Colúvio.

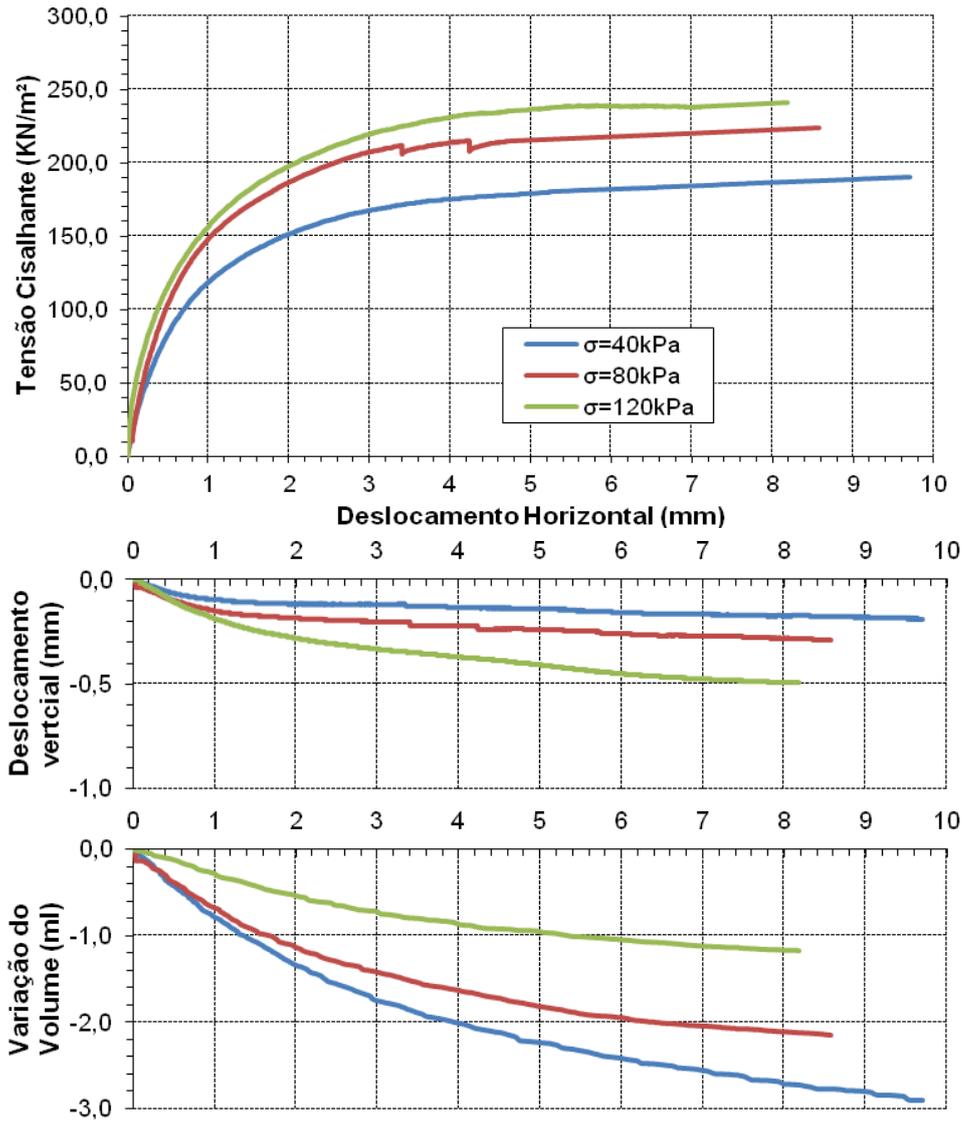


Figura 6.23 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série III – solo Residual Jovem.

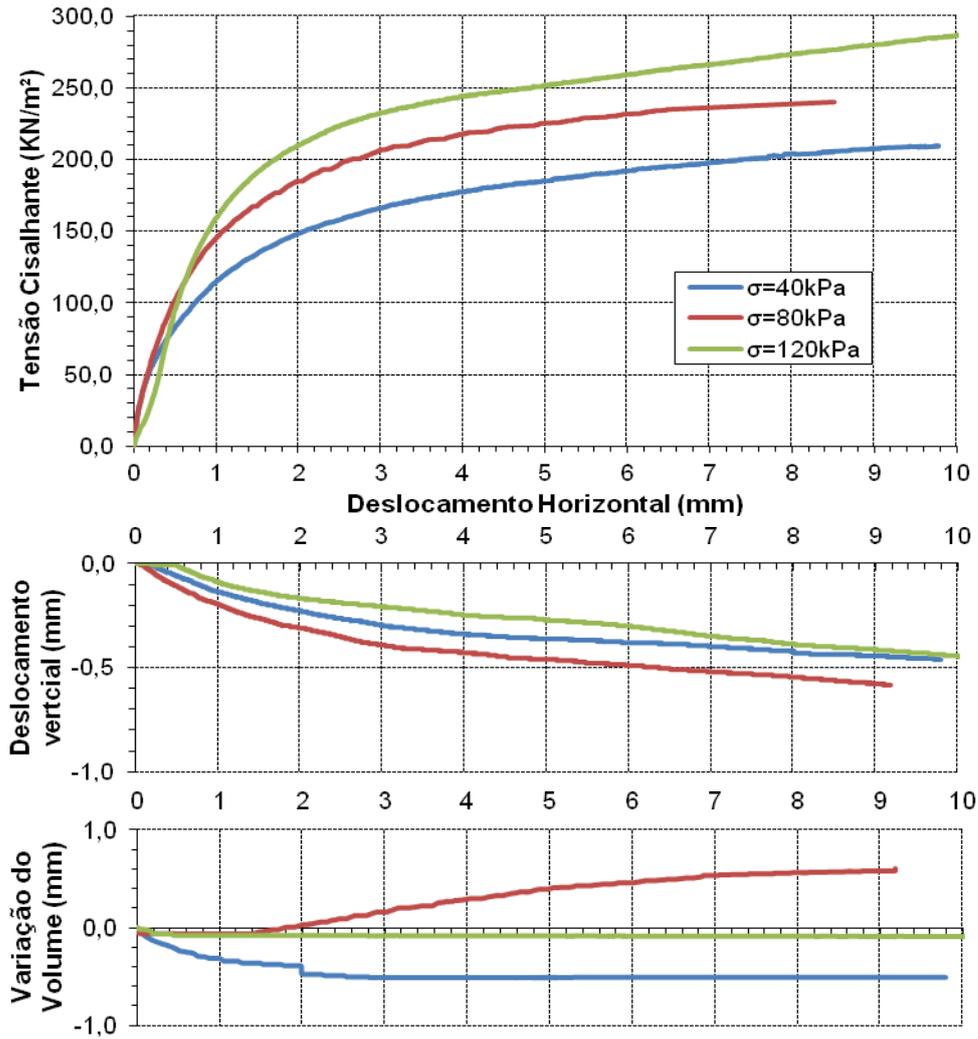


Figura 6.24 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal ao longo do ensaio da série III – Colúvio.

6.4.

Ensaio de Cisalhamento direto com ciclos de umedecimento e secado.

Para avaliar efeitos de ciclos de umedecimento e secagem nos materiais estudados, foi necessário definir níveis de sucção que seriam atingidos em cada ciclo.

A tabela 6.10 descreve os níveis de sucção a que foram levadas todas as amostras em cada ciclo durante a fase de equalização, antes de serem cisalhadas.

Os ensaios I.1, I.2 e I.3 que englobam o ciclo I, representam o efeito da secagem que sofre o material após ter sido saturado. Os níveis de sucção iniciais para todos os ensaios deste ciclo foram 60 kPa e as sucções finais atingidas após a saturação foram 60, 120 e 200 kPa.

Já os ensaios II.1, II.2 e II.3, que englobam o ciclo II representam o re-umedecimento do material após re-secagem. Da mesma forma que no ciclo I, as sucções de partida foram 60 kPa, enquanto que as sucções finais atingidas foram 0 em todos os ensaios.

Tabela 6.10 – Ciclos de Umedecimento e Secagem para o Colúvio e solo Residual.

Ciclo	Ensaio	Trajectoria
I	I.1	S=60→s=0→s=60
	I.2	S=60→s=0→s=120
	I.3	S=60→s=0→s=200
II	II.1	S=60→s=0→s=60→s=0
	II.2	S=60→s=0→s=120→s=0
	II.3	S=60→s=0→s=200→s=0

6.4.1. Ciclo I

Na tabela 6.11 e 6.12, são apresentados os índices físicos iniciais dos corpos de prova, após o adensamento e no final do cisalhamento, dos materiais ensaiados. Pode-se observar que, para ambos os solos, a umidade final dos corpos de prova, após o cisalhamento, reflete o nível de sucção atingido durante o ensaio.

Tabela 6.11 – Índices físicos ao longo do Ciclo I para o Colúvio.

Ciclo	Ensaio	Índices físicos iniciais					Final
		γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	W_{campo} (%)	e_o	s (%)	w (%)
I	I.1	1.56	1.20	30.19	1.22	0.66	27.46
	I.2	1.63	1.25	30.61	1.13	0.72	25.15
	I.3	1.66	1.29	29.14	1.07	0.73	26.62

Tabela 6.12 – Índices físicos ao longo do Ciclo I para o Solo Residual Jovem.

Série	Ensaio	Índices físicos iniciais					Final
		γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	W_{campo} (%)	e	s (%)	w (%)
I	I.1	1.59	1.24	28.40	1.23	0.64	34.04
	I.2	1.59	1.23	29.42	1.25	0.65	31.56
	I.3	1.55	1.21	27.84	1.28	0.60	29.26

As figuras 6.25 a 6.30 apresentam as curvas de tensão cisalhante versus deslocamento horizontal obtidas a partir dos ensaios I.1, I.2 e I.3 para o Colúvio e Residual Jovem respectivamente, comparadas com as curvas obtidas dos ensaios de resistência sem ciclos de umedecimento e secagem.

No caso do Colúvio as curvas tensão cisalhante versus deslocamento horizontal apresentam uma ligeira diminuição de resistência com respeito à resistência obtida sem ciclo de umedecimento e secagem. A curva da figura 6.22, no ensaio I.2 apresenta, porém, um comportamento contrário, já que a resistência mostrada é ligeiramente maior que a obtida sem ciclos de umedecimento e secagem.

Nas curvas de deslocamento vertical versus deslocamento horizontal, apresentadas nas figuras 6.21 a 6.23, observou-se um menor deslocamento vertical com relação às curvas obtidas sem ciclos de umedecimento e secagem.

Para o solo Residual Jovem, da mesma forma que no Colúvio, as curvas tensão cisalhante versus deslocamento horizontal apresentam uma ligeira diminuição de resistência com respeito à resistência obtida sem ciclo de umedecimento e secagem.

As curvas de deslocamento vertical versus deslocamento horizontal apresentadas as figuras 6.24 à 6.26 não mostram um claro comportamento da diminuição do deslocamento vertical como foi visto no Colúvio, já que para níveis de sucção de 60 e 120 kPa as curvas com ciclos de umedecimento e secagem apresentam um maior deslocamento com respeito à curva obtida sem ciclos de umedecimento e secagem.

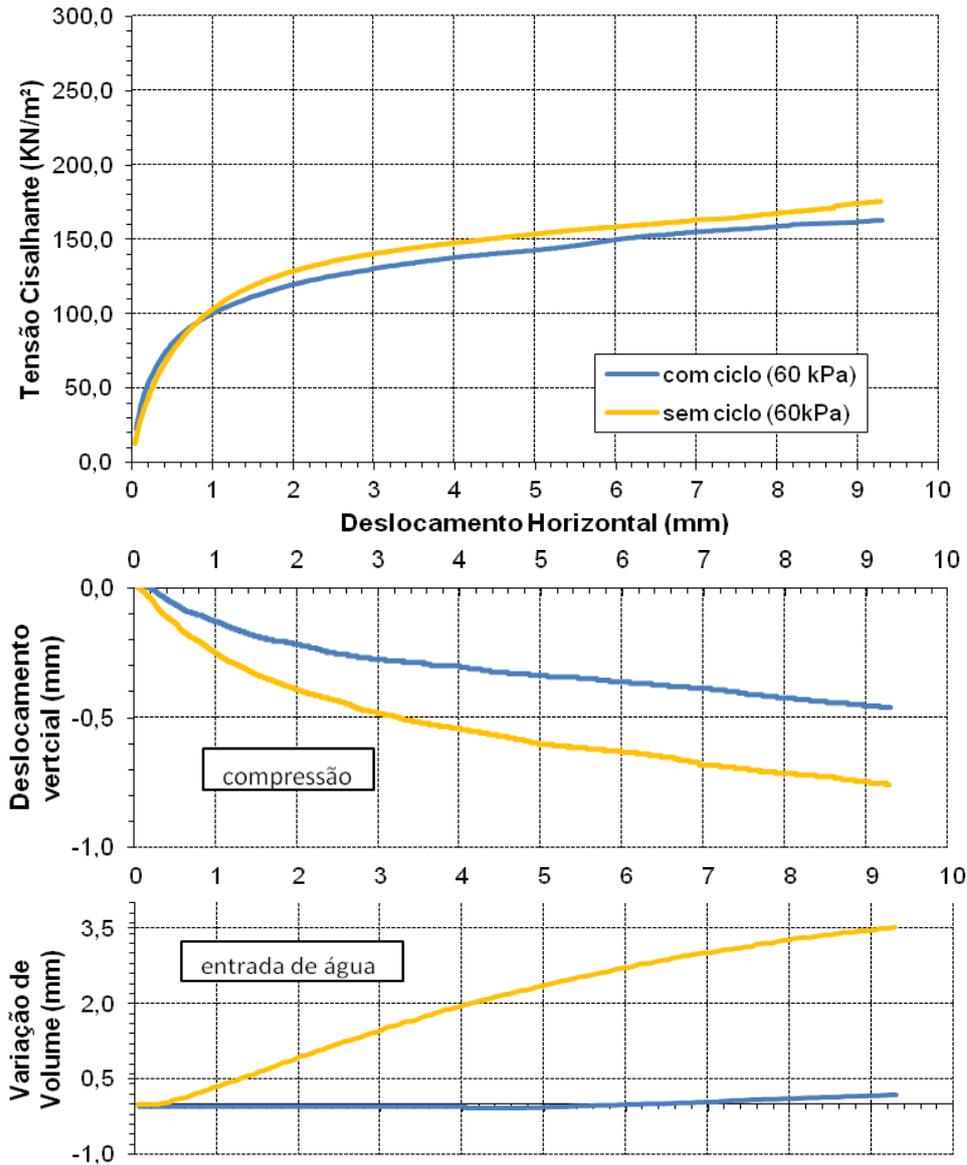


Figura 6.25 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal do ensaio I.1 com ciclo e sem ciclo de umedecimento e secagem no Colúvio.

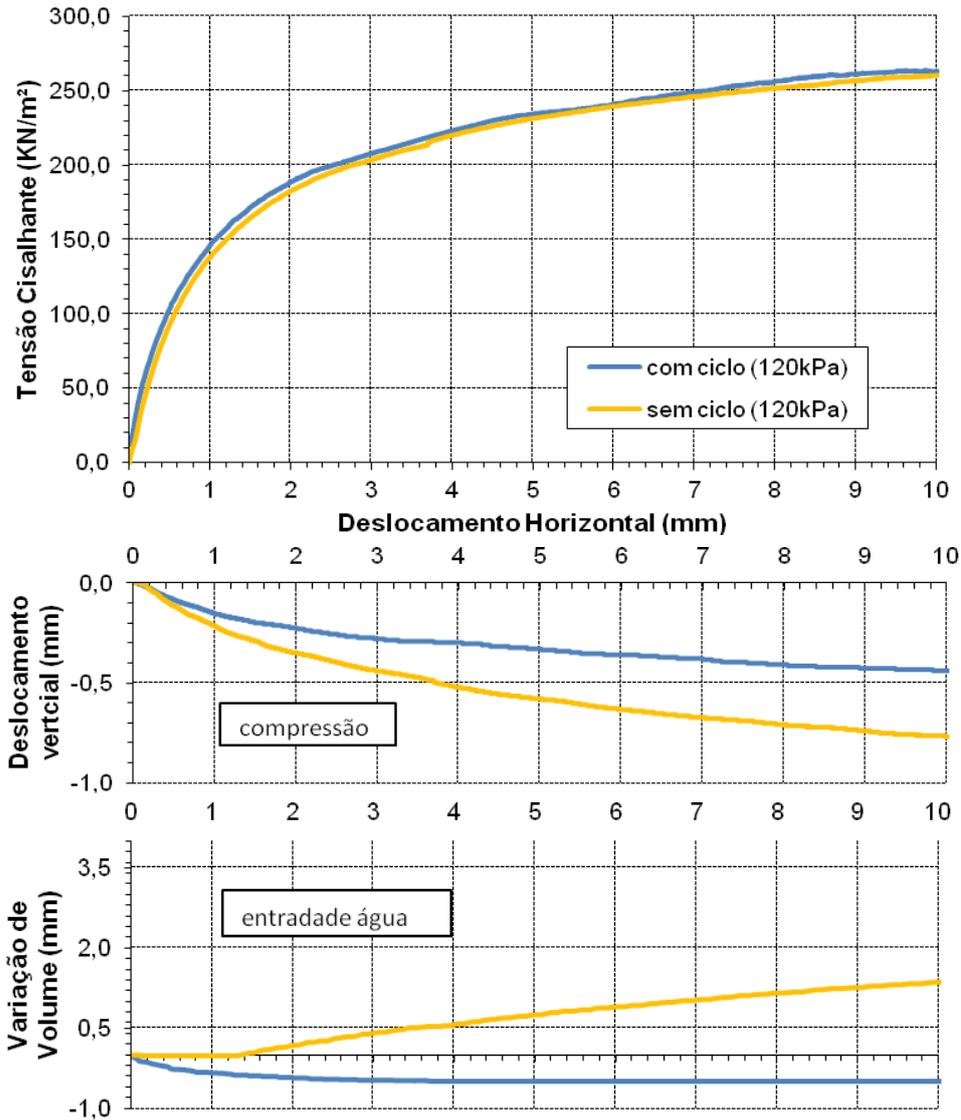


Figura 6.26 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal do ensaio I.2 com ciclo e sem ciclo de umedecimento e secagem no Colúvio.

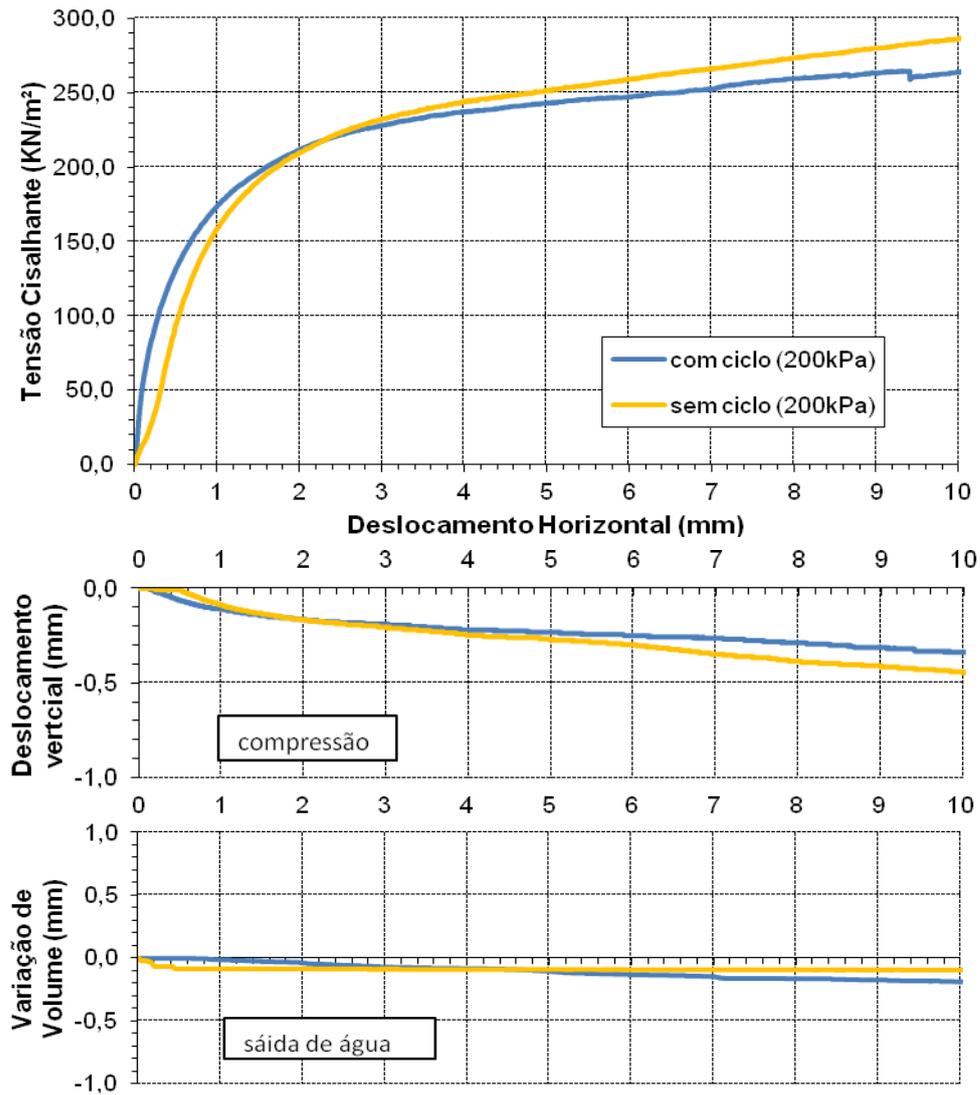


Figura 6.27 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal do ensaio I.3 com ciclo e sem ciclo de umedecimento e secagem no Colúvio.

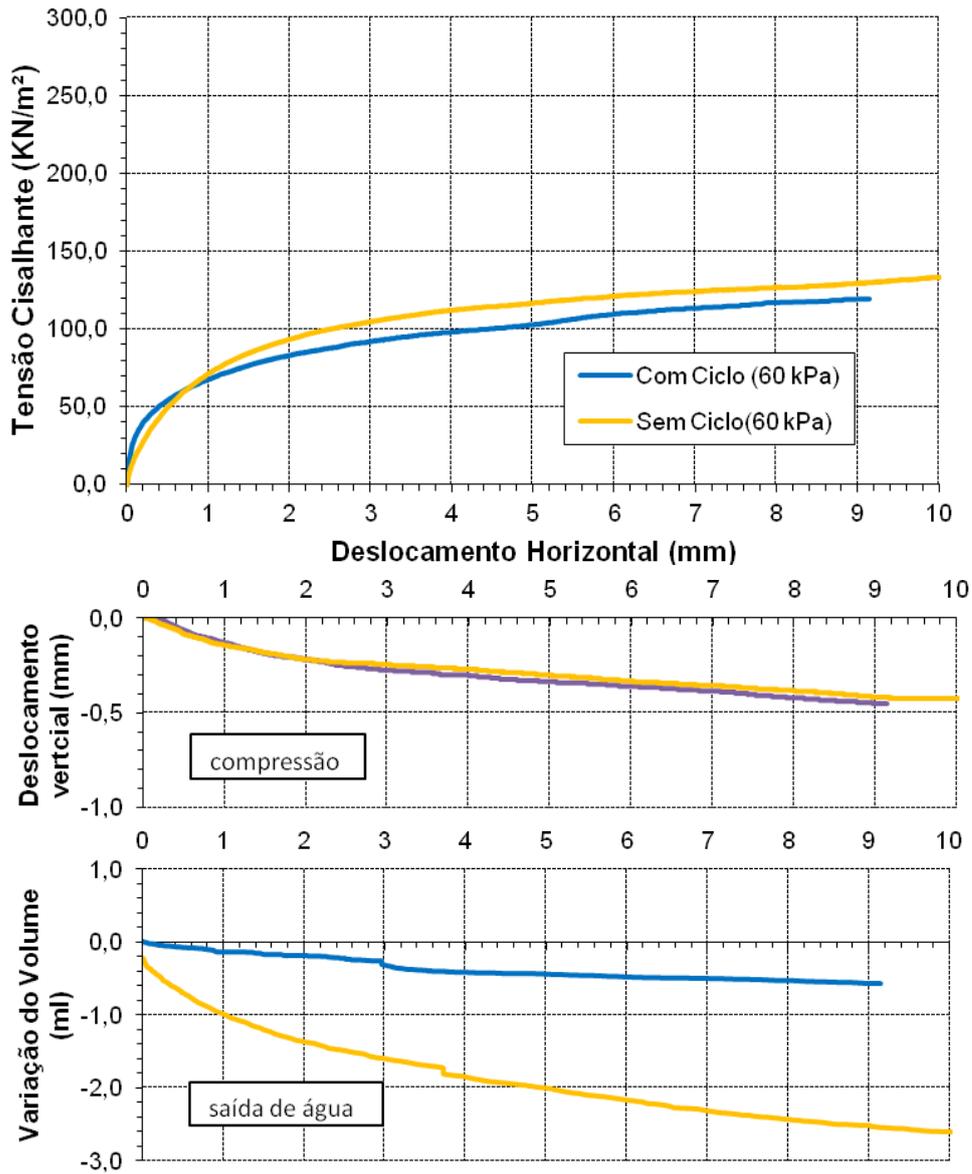


Figura 6.28 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal do ensaio I.1 com ciclo e sem ciclo de umedecimento e secagem no solo Residual Jovem.

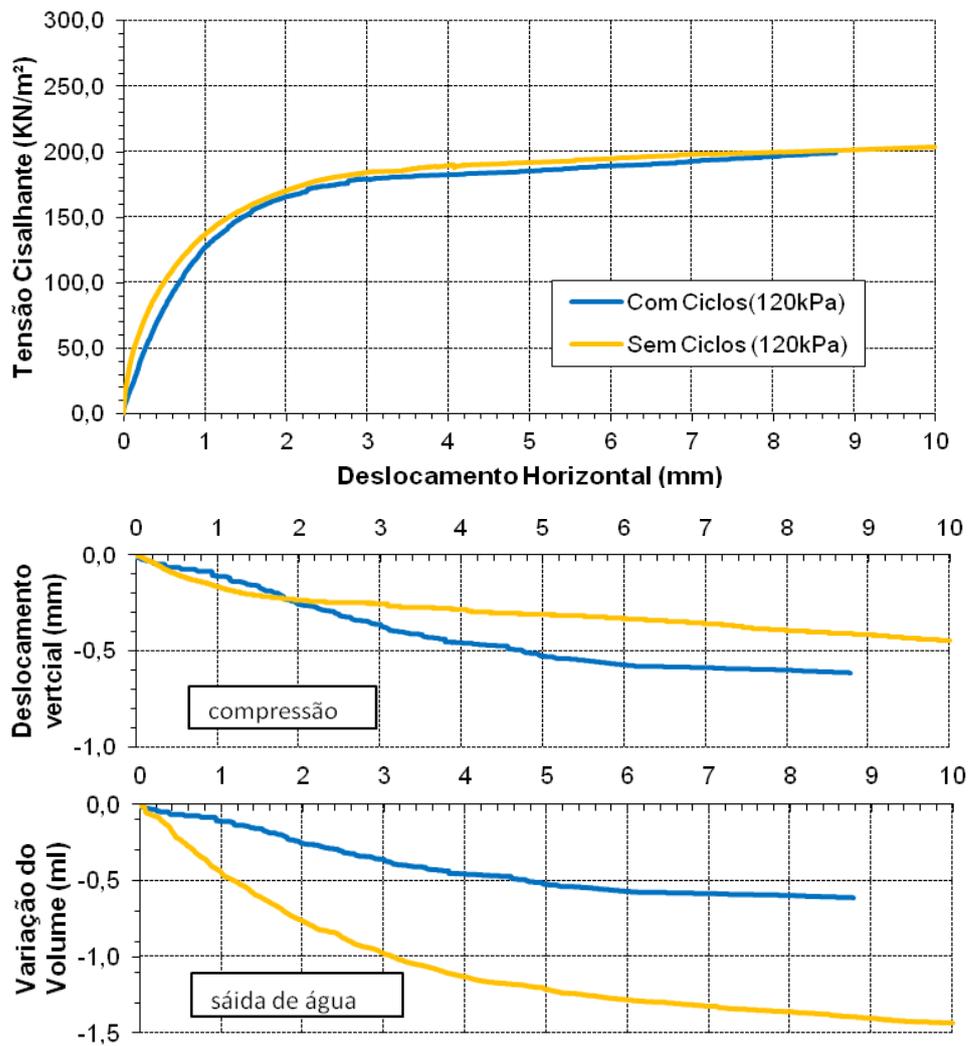


Figura 6.29 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal do ensaio I.2 com ciclo e sem ciclo de umedecimento e secagem no solo Residual Jovem.

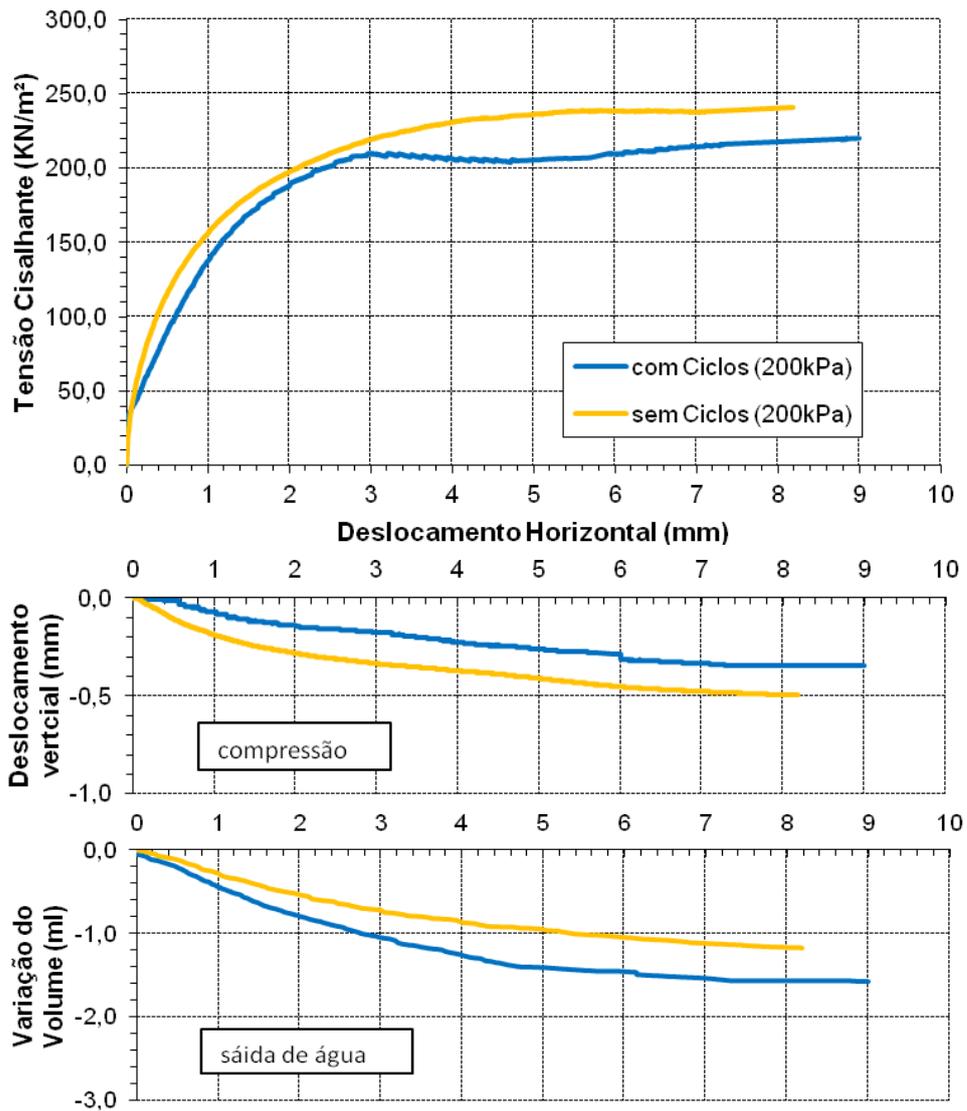


Figura 6.30 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal do ensaio I.3 com ciclo e sem ciclo de umedecimento e secagem no solo Residual Jovem.

6.4.2. Ciclo II

Nas tabelas 6.9 e 6.10, são apresentados os índices físicos iniciais dos corpos de prova, após o adensamento e no final do cisalhamento, dos materiais ensaiados.

Cabe ressaltar que os valores de umidade final após o cisalhamento mostrados na tabela 6.9 e 6.10 para ambos os solos, não apresenta uma boa correlação com o nível de sucção a que foram ensaiadas as amostras, sendo que o valor da umidade na condição saturada (sucção 0 kPa) apresenta valores mais altos. Este aspecto será discutido no capítulo de interpretação de resultados.

Tabela 6.13 – Índices físicos ao longo do Ciclo II para o Colúvio.

Ciclo	Ensaio	Índices físicos iniciais					Final
		γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	W_{campo} (%)	e_o	s (%)	
II	II.1	1.70	1.31	30.19	1.03	0.78	30.93
	II.2	1.64	1.26	30.61	1.12	0.73	29.82
	II.3	1.61	1.24	29.71	1.14	0.69	30.99

Tabela 6.14 – Índices físicos ao longo do Ciclo II para o Solo Residual Jovem.

Série	Ensaio	Índices físicos iniciais					Final
		γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	W_{campo} (%)	e	s (%)	
II	II.1	1.57	1.18	32.97	1.34	0.68	39.51
	II.2	1.59	1.19	33.68	1.32	0.70	40.59
	II.3	1.51	1.11	35.50	1.48	0.66	38.50

As figuras 6.31 e 6.32 apresentam as curvas de tensão cisalhante versus deslocamento horizontal obtidas a partir dos ensaios II.1, II.2 e II.3 comparadas com a curva obtida sem ciclos de umedecimento e secagem (condição submersa), para o Colúvio e o Residual Jovem.

Das curvas de resistência obtidas para o solo Colúvio (figura 6.31), percebe-se que só fazendo uma comparação entre as curvas com ciclos de umedecimento e secagem, o valor da sucção atingido não apresenta uma clara influência na resistência. Por exemplo, na comparação entre as curvas obtidas, a

maior resistência é observada para um nível de sucção atingido de 120 kPa, seguido de 60 kPa e finalmente 200 kPa.

Ao comparar as curvas com e sem ciclo de umedecimento e secagem, é possível observar um incremento de resistência com o ciclo, fato contrário ao suposto provável (diminuição de resistência ao cisalhamento do solo devido a um ciclo de secagem e umedecimento).

Já nas curvas deslocamento vertical versus deslocamento horizontal, observou-se uma clara influência da sucção atingida na fase de secagem, onde quanto menor a sucção atingida, menor é a compressão do material.

No caso do solo Residual Jovem (figura 6.32) percebe-se que na comparação entre as curvas com ciclos de umedecimento e secagem, o valor da sucção atingido na secagem do solo tem uma ligeira influência nos valores de tensão cisalhante. Sendo assim, quanto maior é a sucção atingida na secagem, ligeiramente maior é a resistência ao cisalhamento. Porém, na comparação com a curva obtida sem ciclo de umedecimento e secagem verificou-se o mesmo acontecido com o Colúvio.

Contrariando o mostrado no Colúvio nas curvas deslocamento vertical versus deslocamento horizontal, a variação de volume do solo residual jovem não é claramente influenciada pela sucção atingida na fase de secagem.

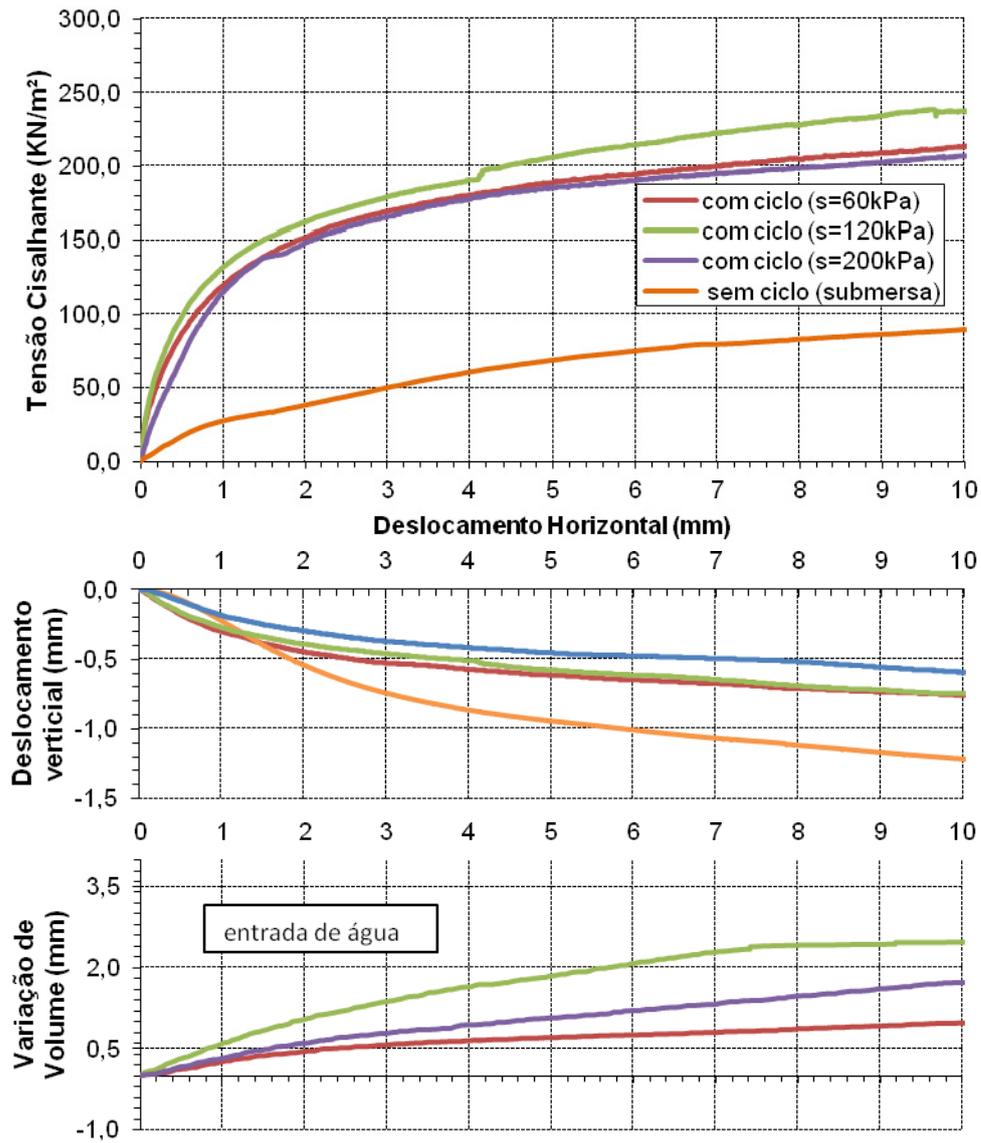


Figura 6.31 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal dos ensaios II.1, II.2 e II.3 comparadas com a obtida da condição submersa no solo Colúvio.

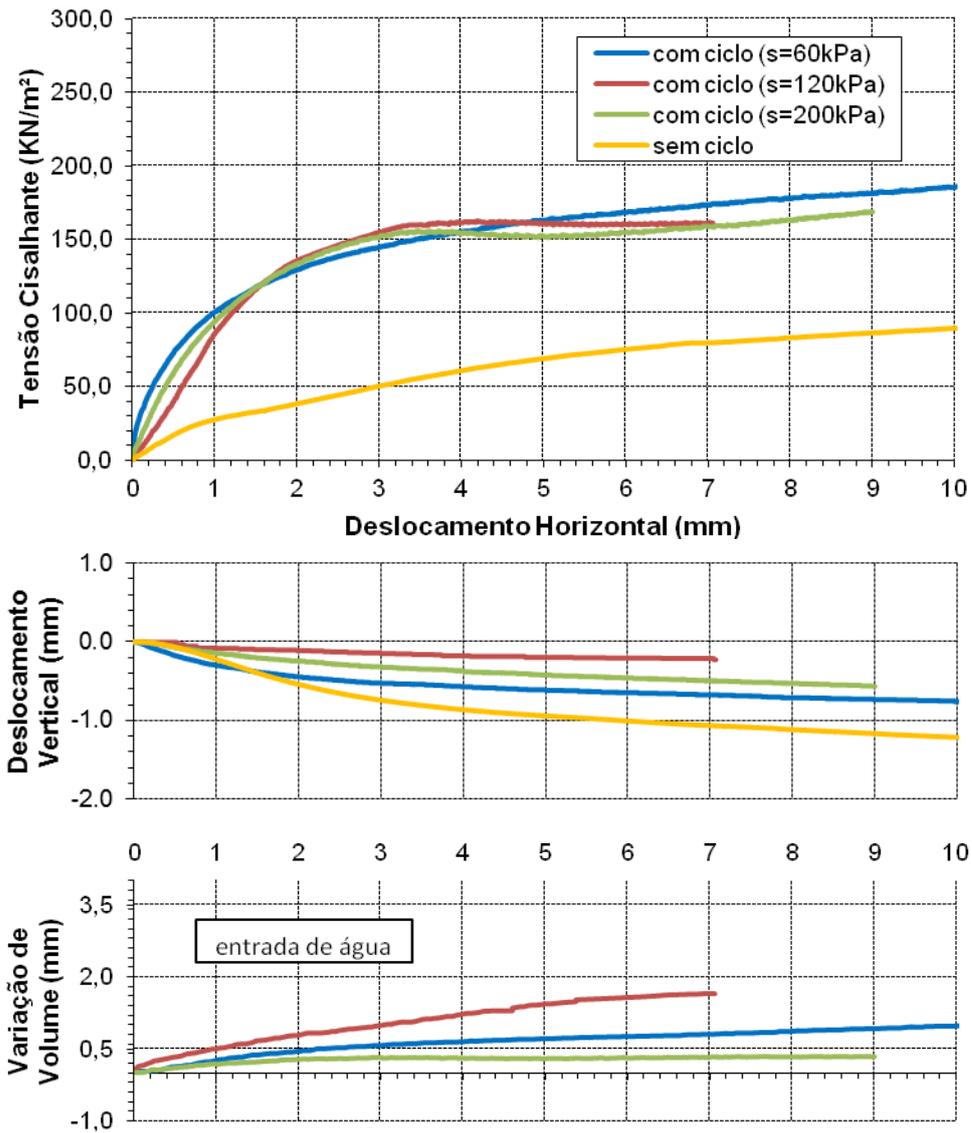


Figura 6.32 – Curvas de tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica com respeito ao deslocamento horizontal dos ensaios II.1, II.2 e II.3 comparadas com a obtida da condição submersa no solo Residual Jovem.