

## Apêndice II - RESULTADOS DOS ENSAIOS NAS PARTÍCULAS E NA ROCHA DE ENROCAMENTO

### II.1. Ensaio de carregamento pontual em partículas

São apresentados os gráficos de carga de ruptura no carregamento pontual  $P$  vs. o quadrado do diâmetro equivalente  $D_e$  (Figuras ii.1 a ii.9). Para cada material, é indicado a curva de melhor ajuste aos resultados dos ensaios. O ajuste foi feito segundo as Equações 6.1 e 6.2, ou seja,  $P = a \ln(D_e^2) - b$  para as partículas de basalto e  $P = a D_e^2 - b$  para as partículas de granito. Onde  $P$  é em Newtons, e  $D_e$  em centímetros. Apresenta-se também o valor do coeficiente de correlação  $R^2$ , determinado pelo métodos usuais de regressão estatística.

A metodologia de execução dos ensaios é apresentada no item 5.5.4.

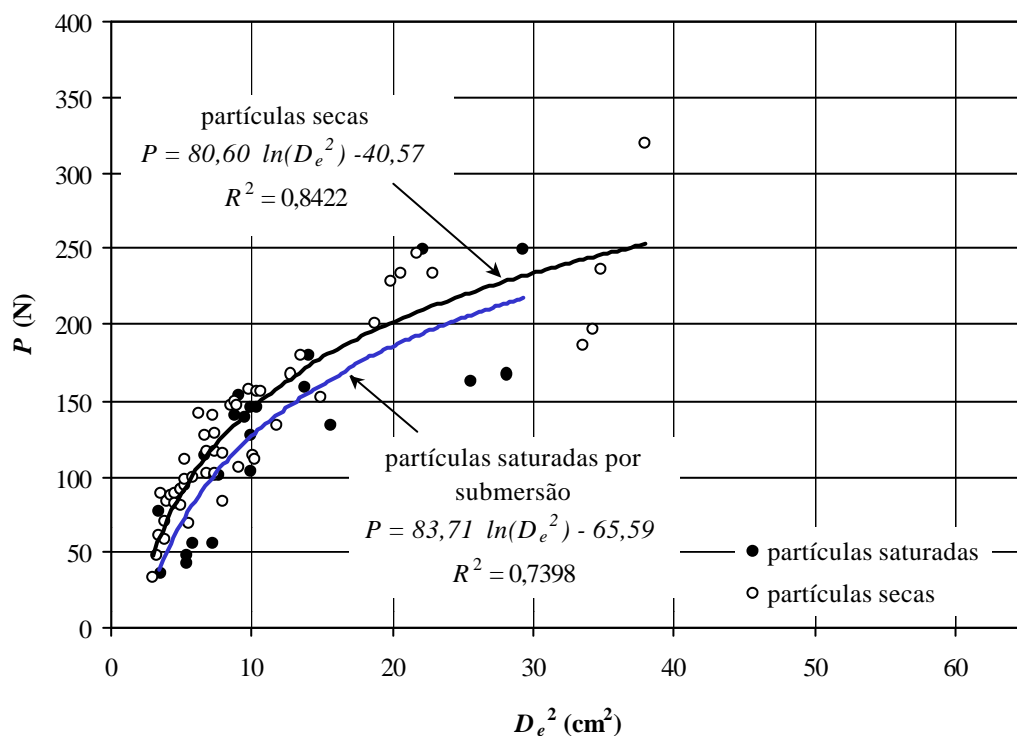


Figura ii.1 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Barragem de Marimbondo.

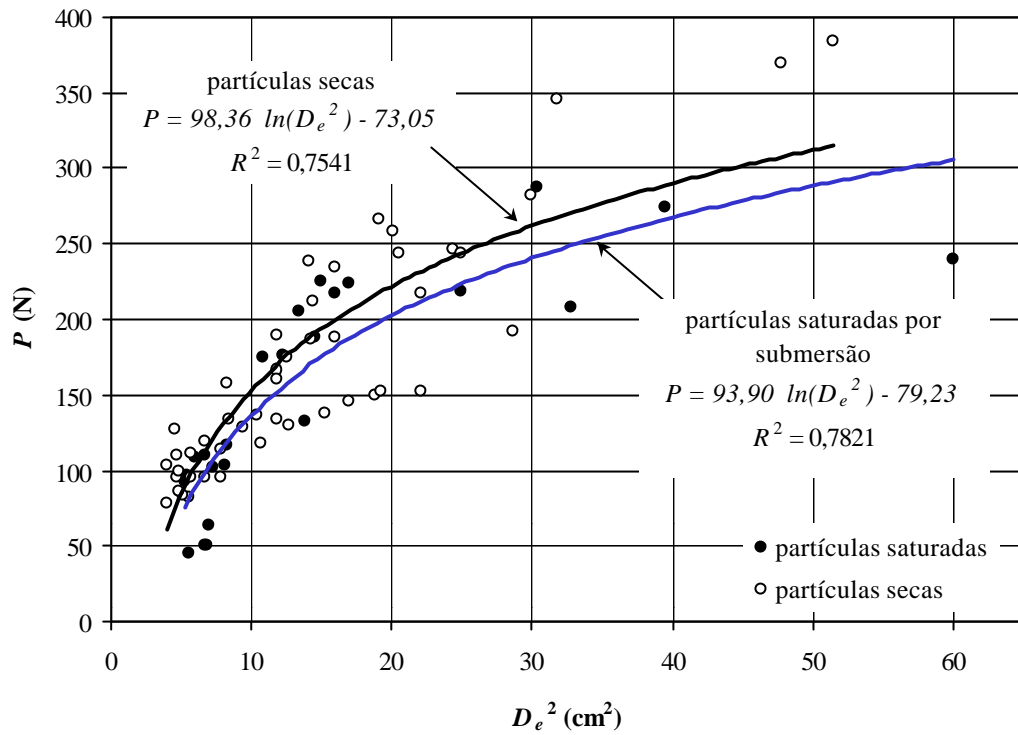


Figura ii.2 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande.

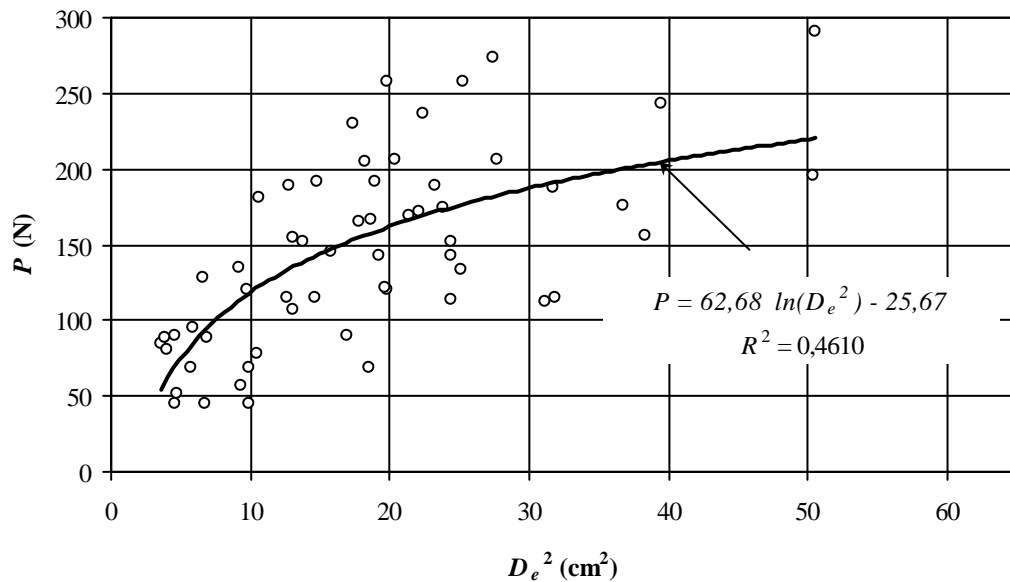


Figura ii.3 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 100h.

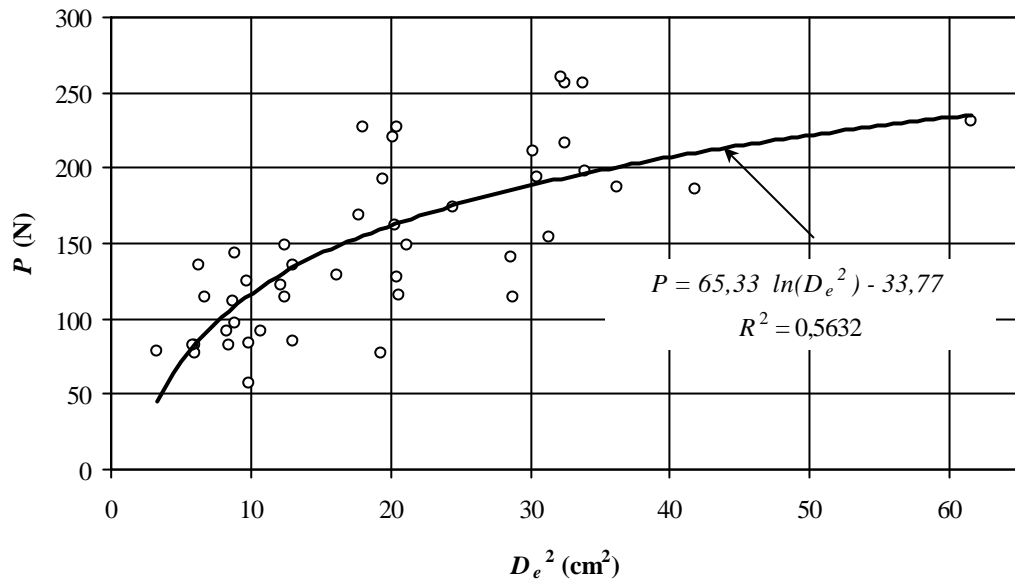


Figura ii.4 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 240h.

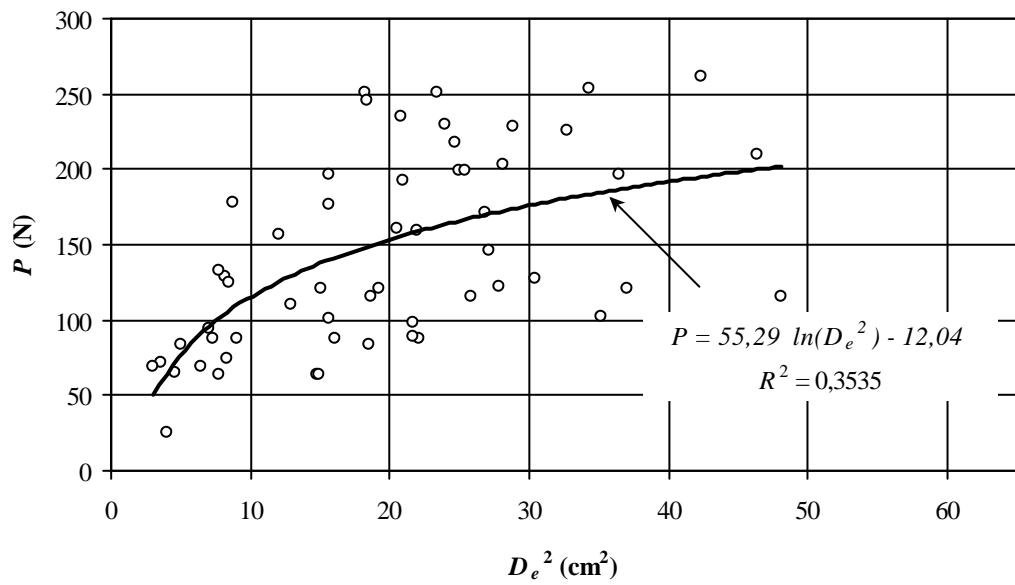


Figura ii.5 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 600h.

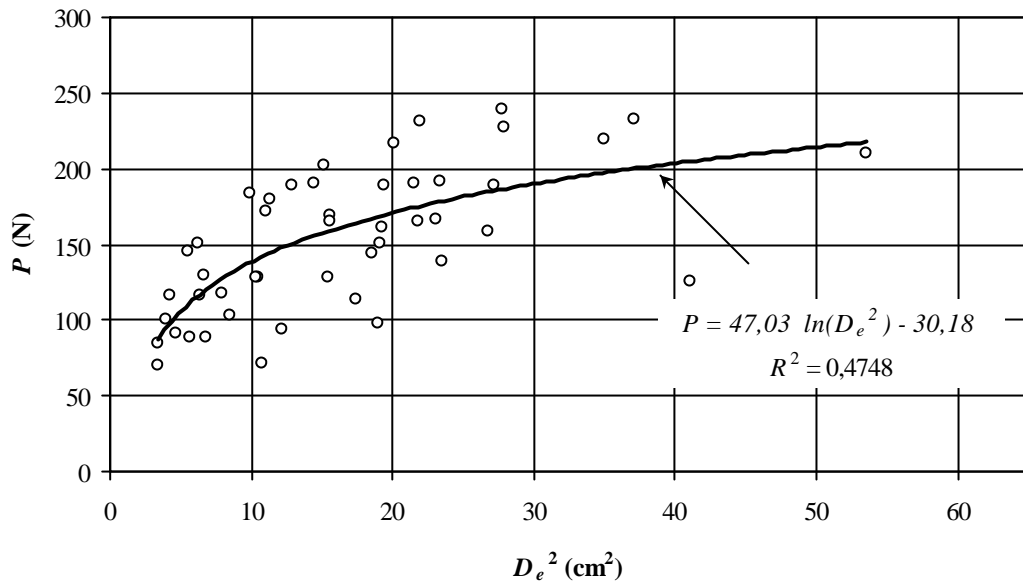


Figura ii.6 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 1500h.

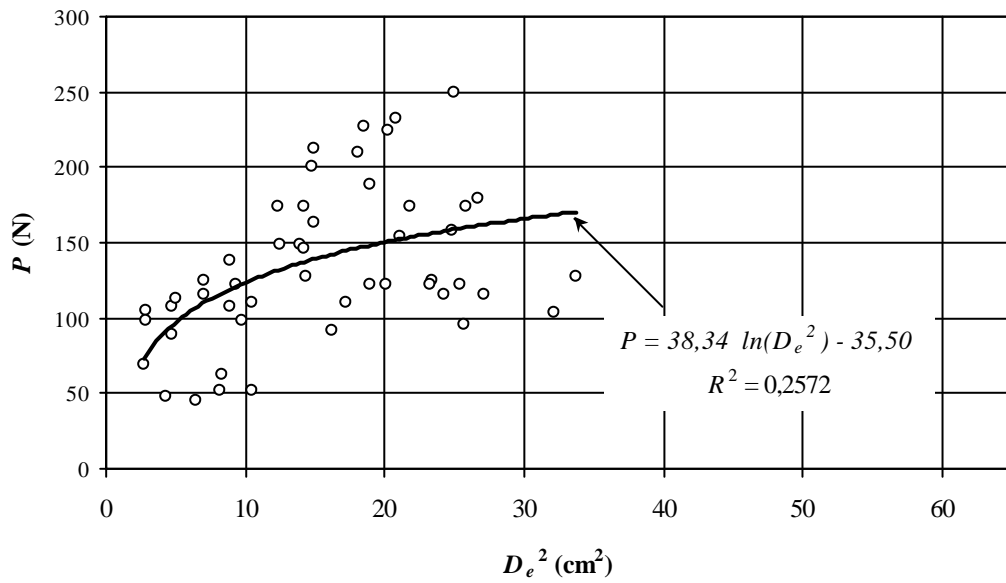


Figura ii.7 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 3200h.

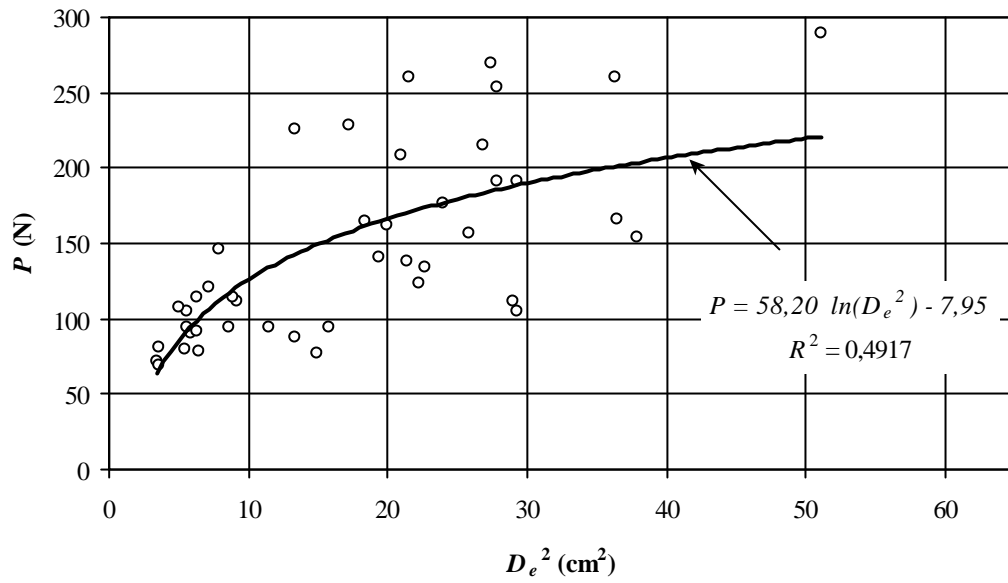


Figura ii.8 - Carregamento pontual em partículas de basalto da Pedreira Rio Grande com 100 ciclos de umidade.

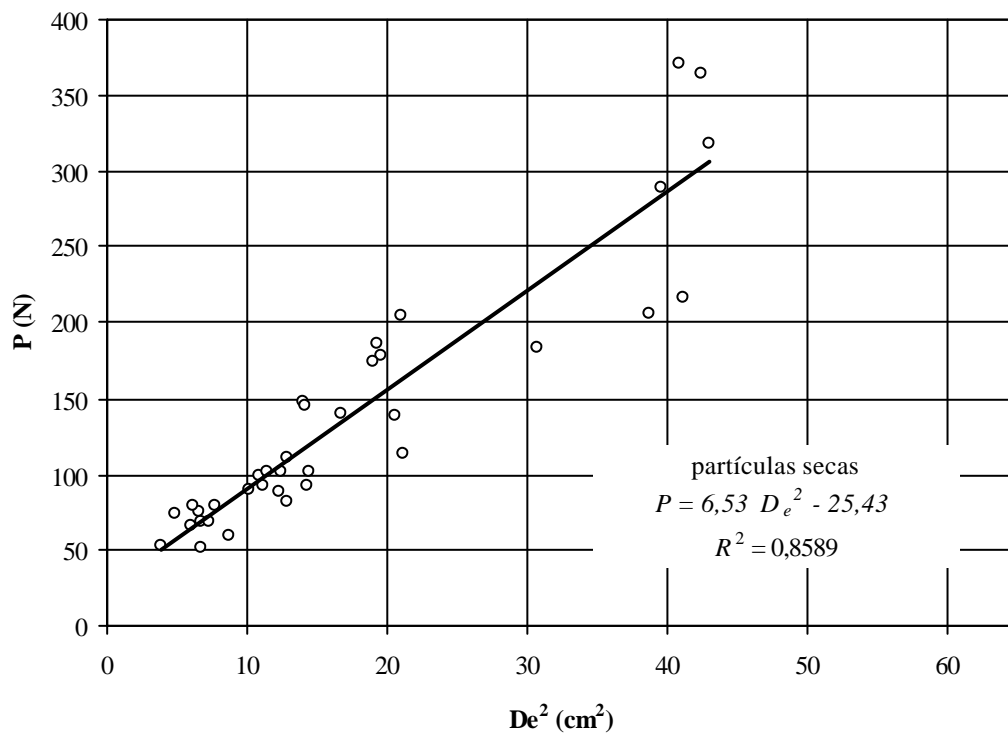


Figura ii.9 - Carregamento pontual em partículas de granito da Barragem de Serra da Mesa.

## II.2. Ensaios de fraturamento de partículas

As Figuras ii.10 a ii.18 apresentam os resultados dos ensaios de fraturamento de partículas, definido por Marsal (1969). Para cada litologia, são apresentadas as Equações das curvas ajustadas aos resultados dos ensaios. O ajuste foi feito segundo as Equações 6.3 e 6.4, ou seja,  $Q_a = a \ln(D_m) - b$  para as partículas de basalto e  $Q_a = a D_m - b$  para as partículas de granito. Onde  $Q_a$  é expresso em Newtons, e  $D_m$  em centímetros. Apresenta-se também o valor do coeficiente de correlação  $R^2$ , determinado pelo métodos usuais de regressão estatística.

A metodologia de execução dos ensaios é apresentada no item 5.5.3.

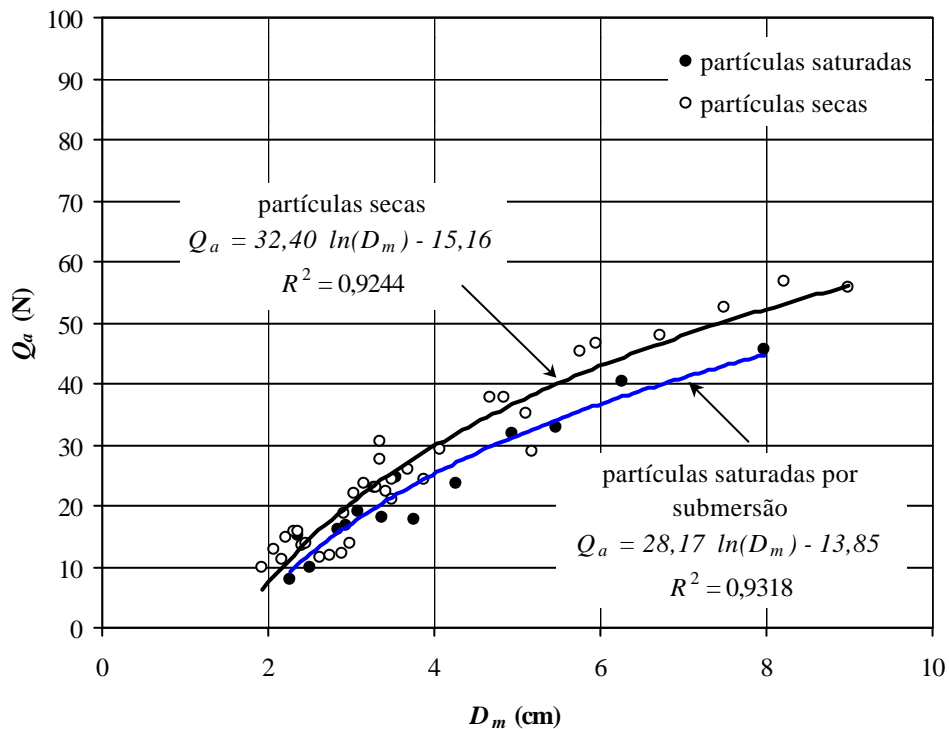


Figura ii.10 - Fraturamento de partículas de basalto de Marimbondo.

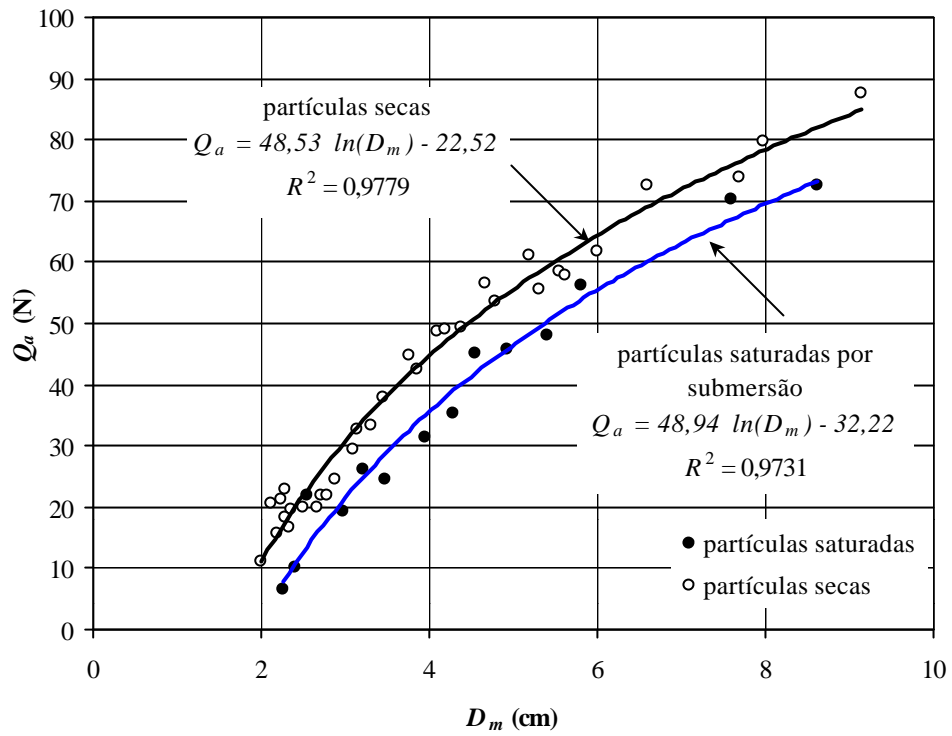


Figura ii.11 - Fraturamento de partículas de basalto da Pedreira Rio Grande.

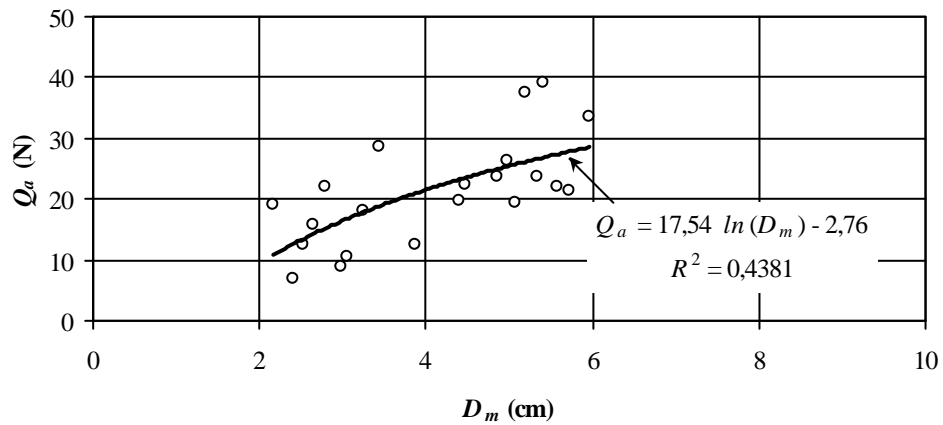


Figura ii.12 - Fraturamento de partículas secas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado continuamente por 100 horas.

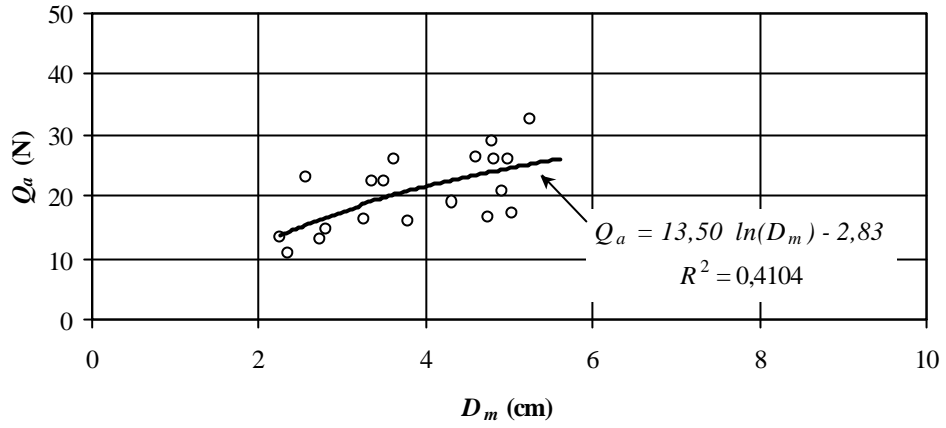


Figura ii.13 - Fraturamento de partículas secas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado continuamente por 240 horas.

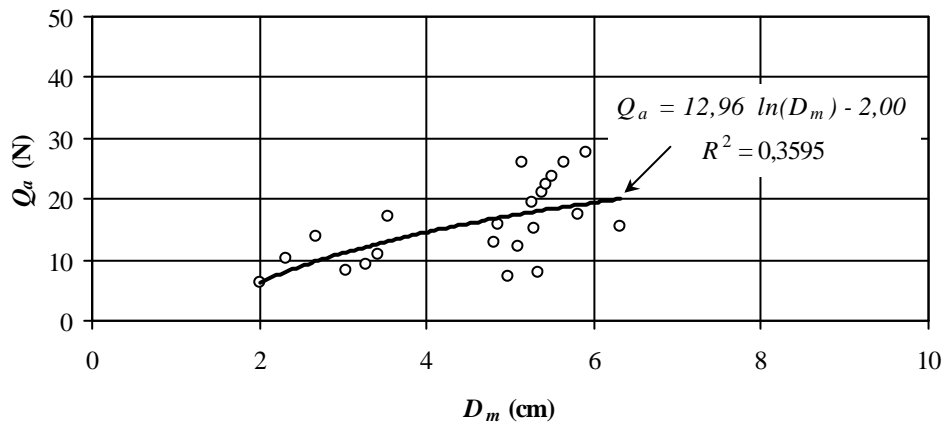


Figura ii.14 - Fraturamento de partículas secas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado continuamente por 600 horas.



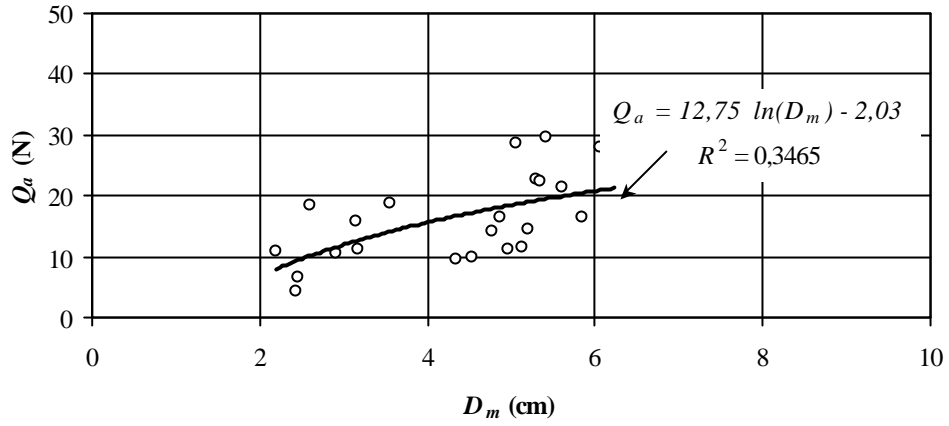


Figura ii.15 - Fraturamento de partículas secas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado continuamente por 1500 horas.

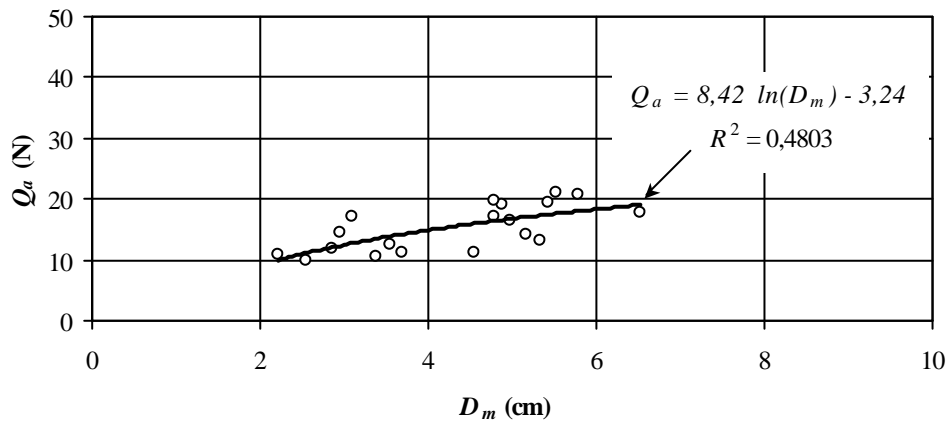


Figura ii.16 - Fraturamento de partículas secas de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado continuamente por 3200 horas.

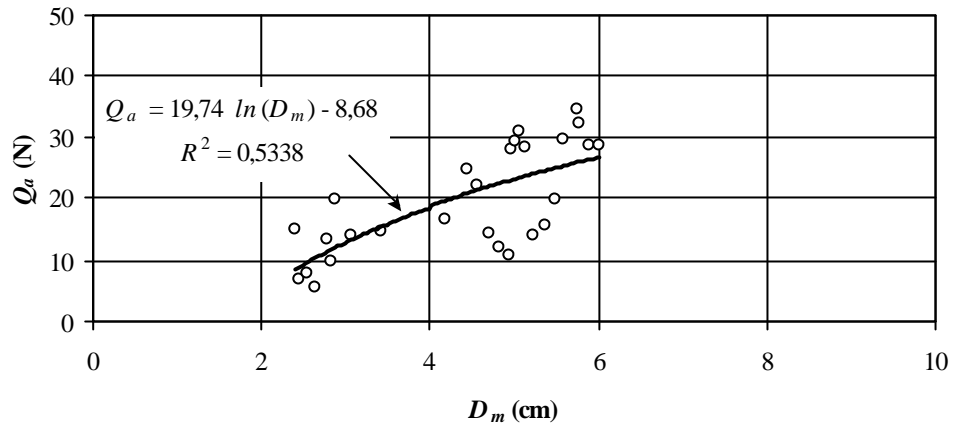


Figura ii.17 - Fraturamento de partículas secas de basalto da Pedreira Rio Grande com 100 ciclos de umidade.

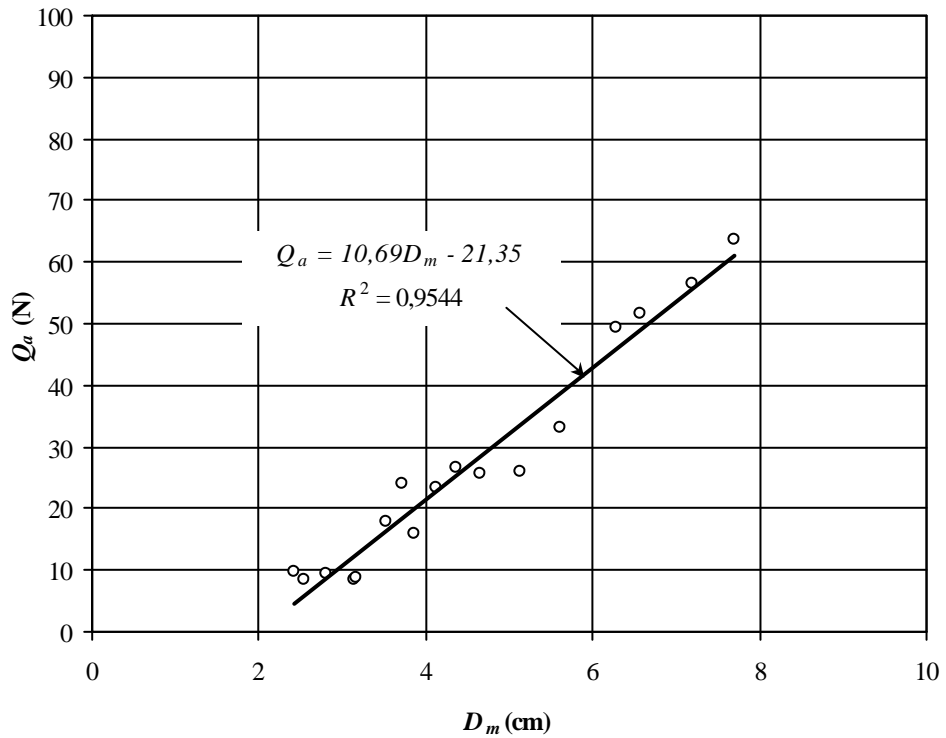


Figura ii.18 - Fraturamento de partículas secas de granito de Serra da Mesa.

### II.3. Ensaio de compressão uniaxial nos testemunhos de basalto

As Figuras ii.19 a ii.37 mostram os resultados dos ensaios de compressão uniaxial em corpos de prova cilíndricos de basalto, através das curvas tensão axial  $s_u$  vs. deformação axial  $e_{axi}$ , radial  $e_{rad}$  e volumétrica  $e_{vol}$ . As deformações são expressas em  $\mu e$  ( $10^{-3} \epsilon$ ). Em cada gráfica é indicado o módulo de deformação tangentes  $E$  (inclinação da reta tangente à curva  $s_u$  vs.  $e_{axi}$  a 50% da tensão  $q$ ) e o coeficiente de Poisson tangentes  $\nu$  (inclinação da reta tangente à curva  $e_{rad}$  vs.  $e_{axi}$  a 50% da tensão  $q$ ).

A metodologia de execução e as características dos corpos de prova dos ensaios é apresentada no item 5.5.6.

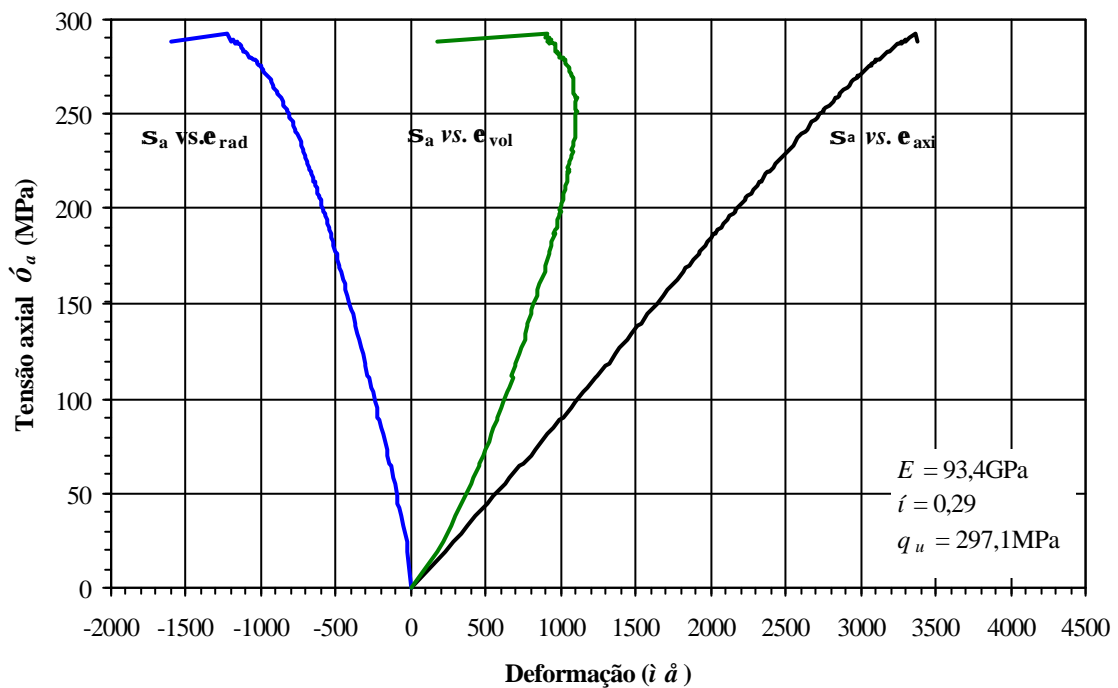


Figura ii.19 - Compressão uniaxial no basalto da Barragem de Marimbondo: corpo de prova M(1)

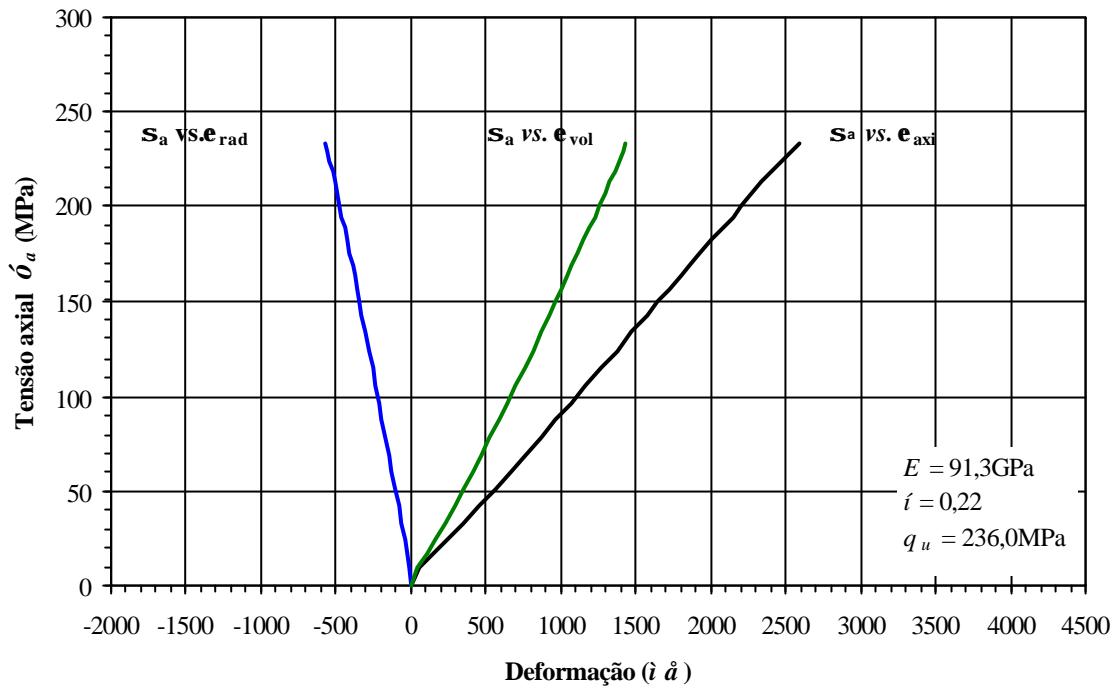


Figura ii.20 - Compressão uniaxial no basalto da Barragem de Marimbondo: corpo de prova M(2)

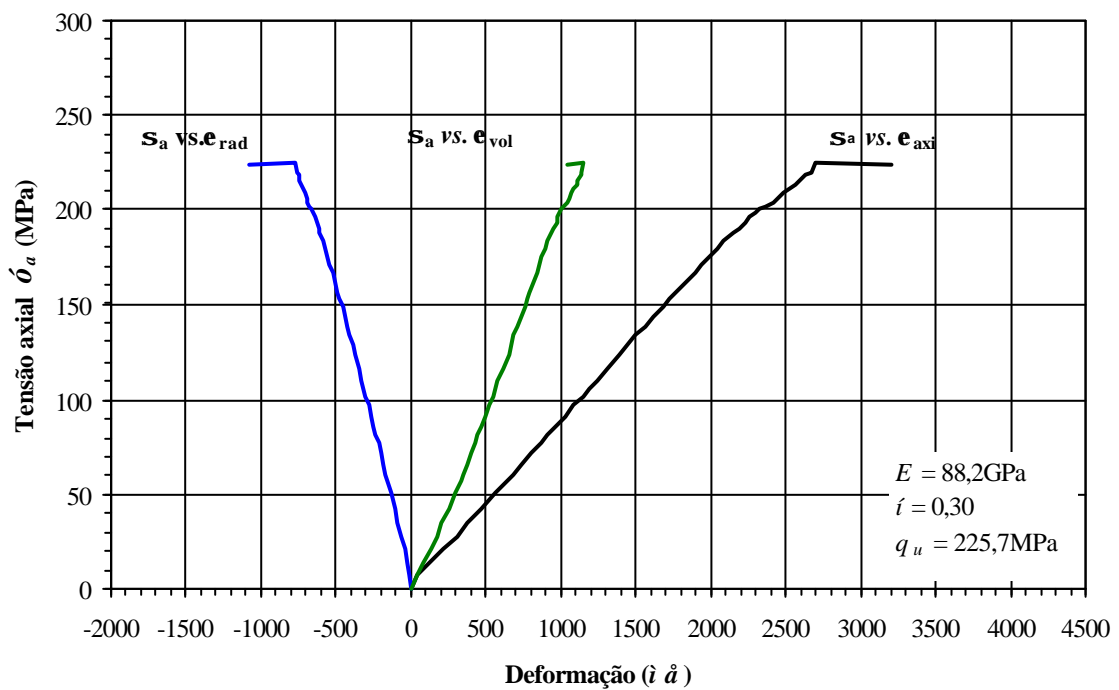


Figura ii.21 - Compressão uniaxial no basalto da Barragem de Marimbondo: corpo de prova M(3)

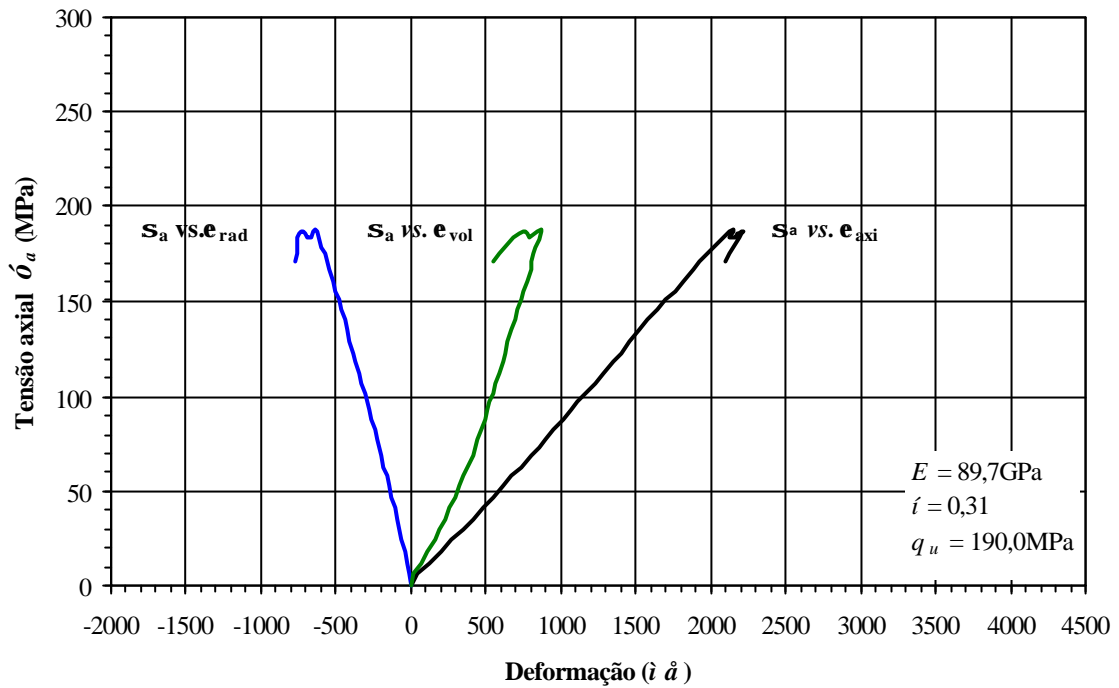


Figura ii.22 - Compressão uniaxial no basalto da Barragem de Marimbondo: corpo de prova M(4)

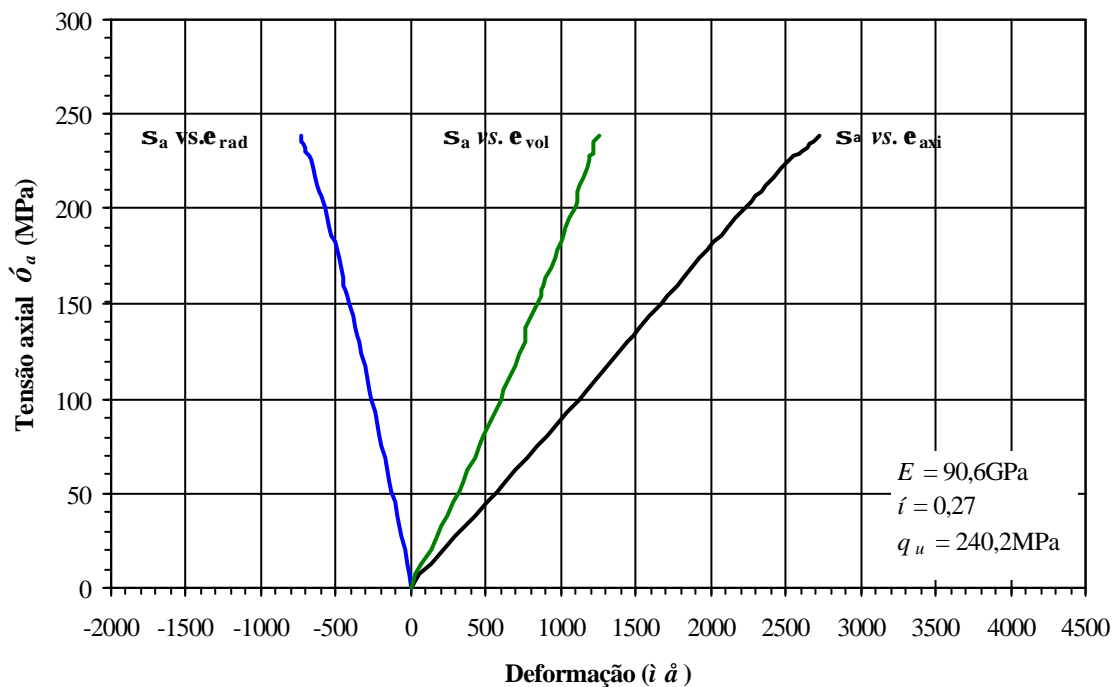


Figura ii.23 - Compressão uniaxial no basalto da Barragem de Marimbondo: corpo de prova M(5)

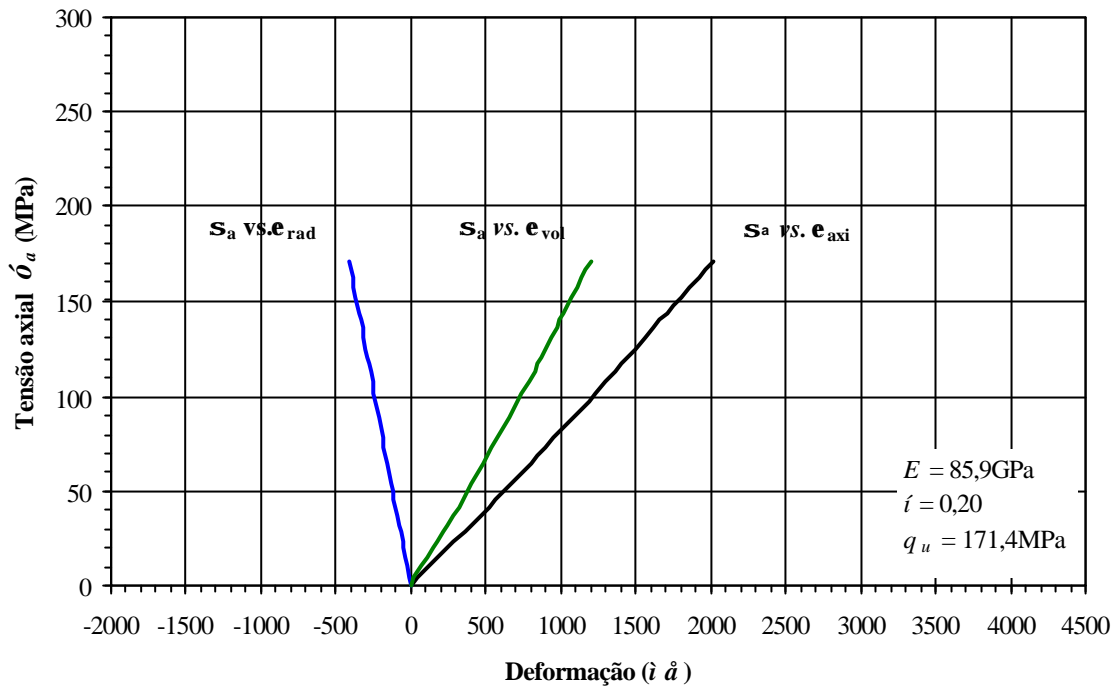


Figura ii.24 - Compressão uniaxial no basalto da Pedreira Rio Grande: corpo de prova P(1)

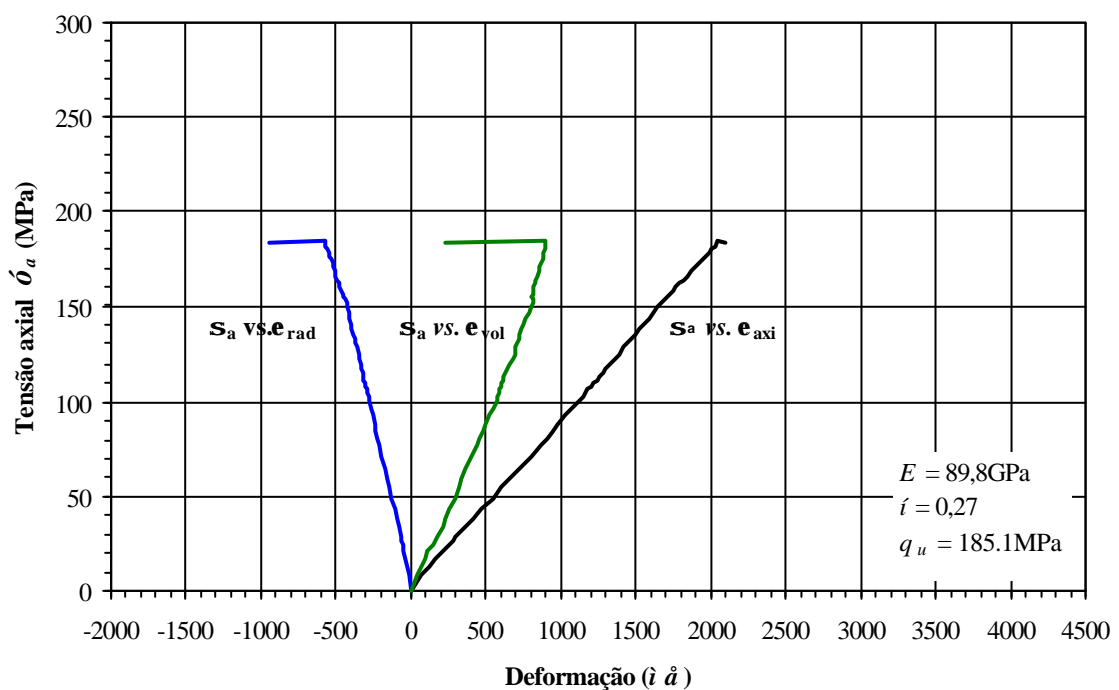


Figura ii.25 - Compressão uniaxial no basalto da Pedreira Rio Grande: corpo de prova P(2)

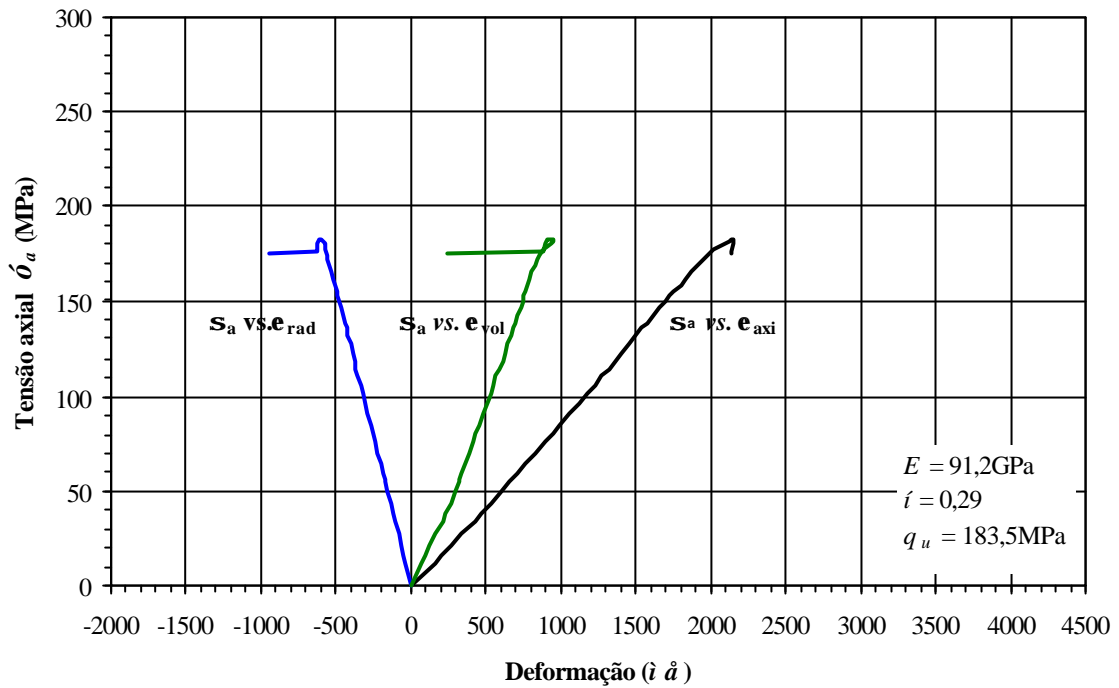


Figura ii.26 - Compressão uniaxial no basalto da Pedreira Rio Grande: corpo de prova P(3)

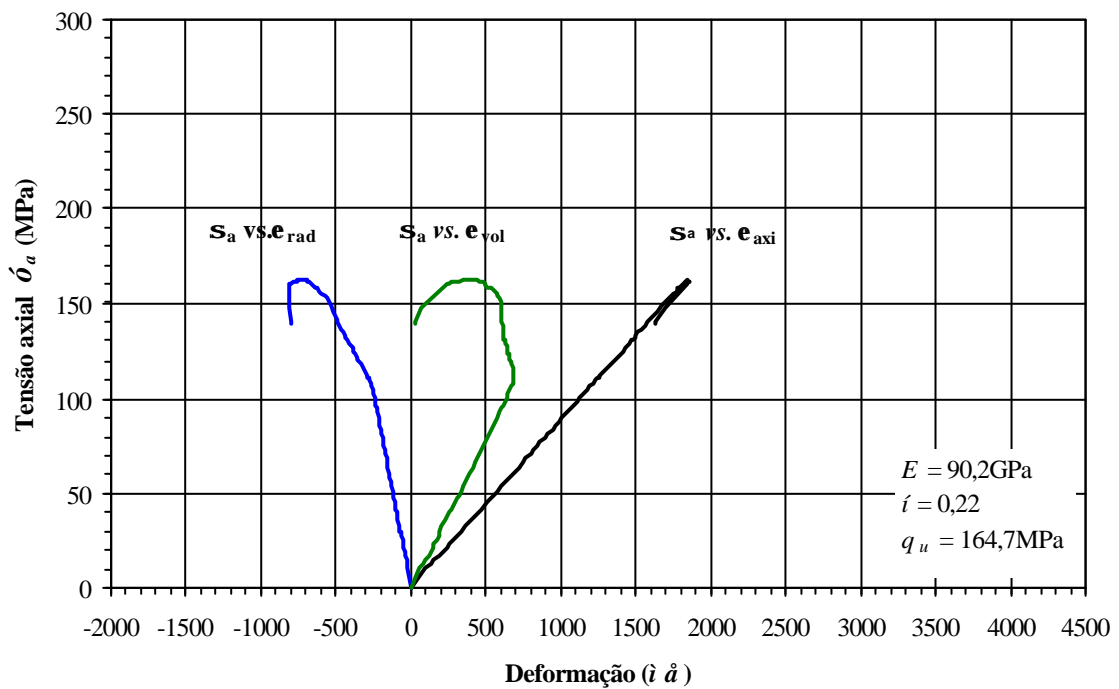


Figura ii.27 - Compressão uniaxial no basalto da Pedreira Rio Grande: corpo de prova P(4)

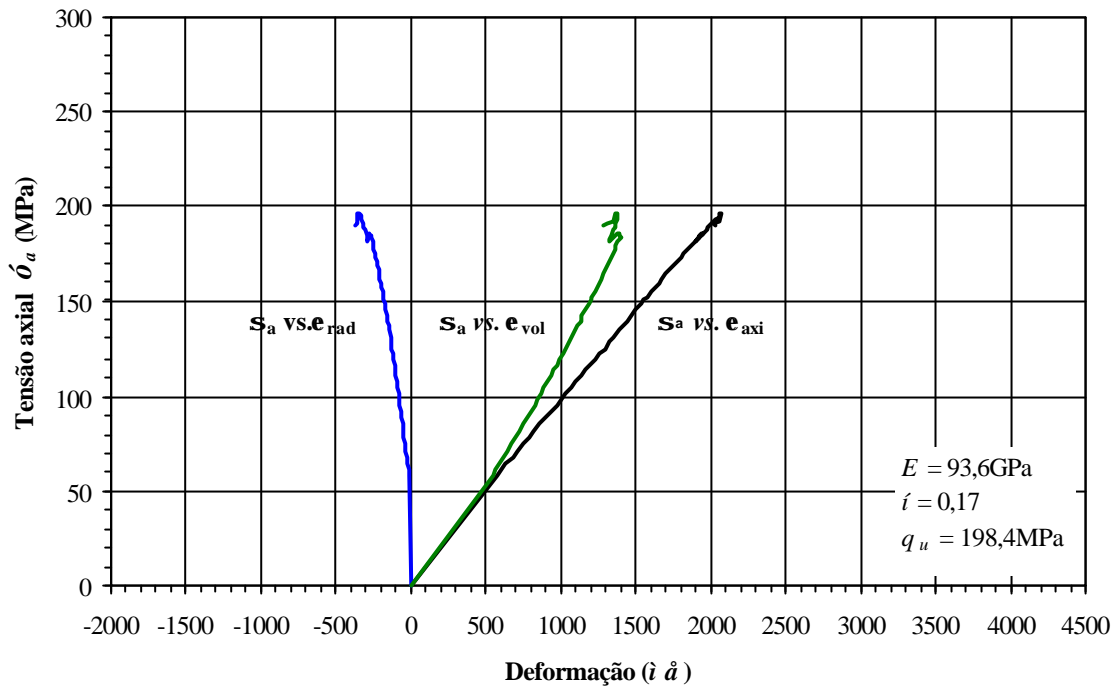


Figura ii.28 - Compressão uniaxial no basalto da Pedreira Rio Grande: corpo de prova P(5)

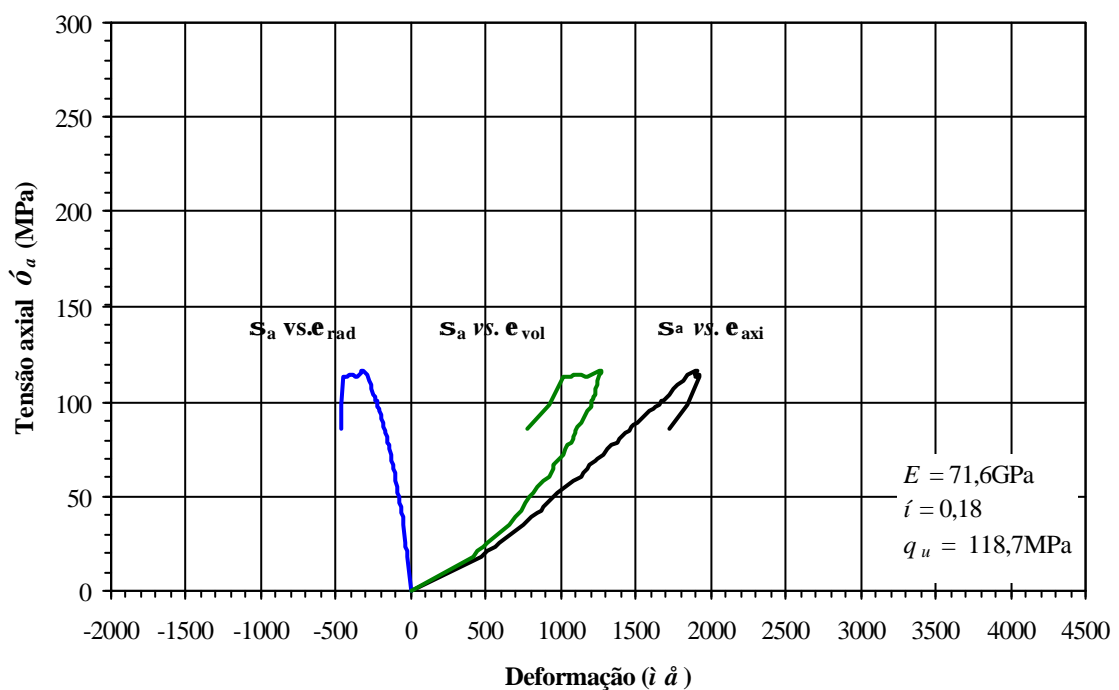


Figura ii.29 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L300(1)



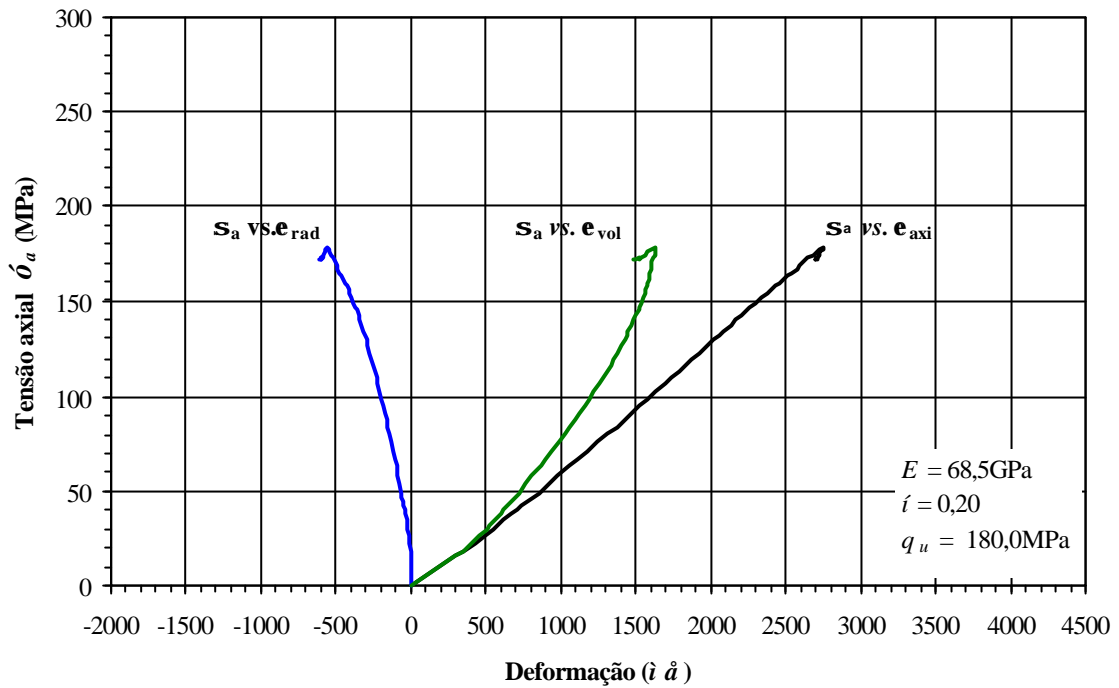


Figura ii.30 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L300(2)

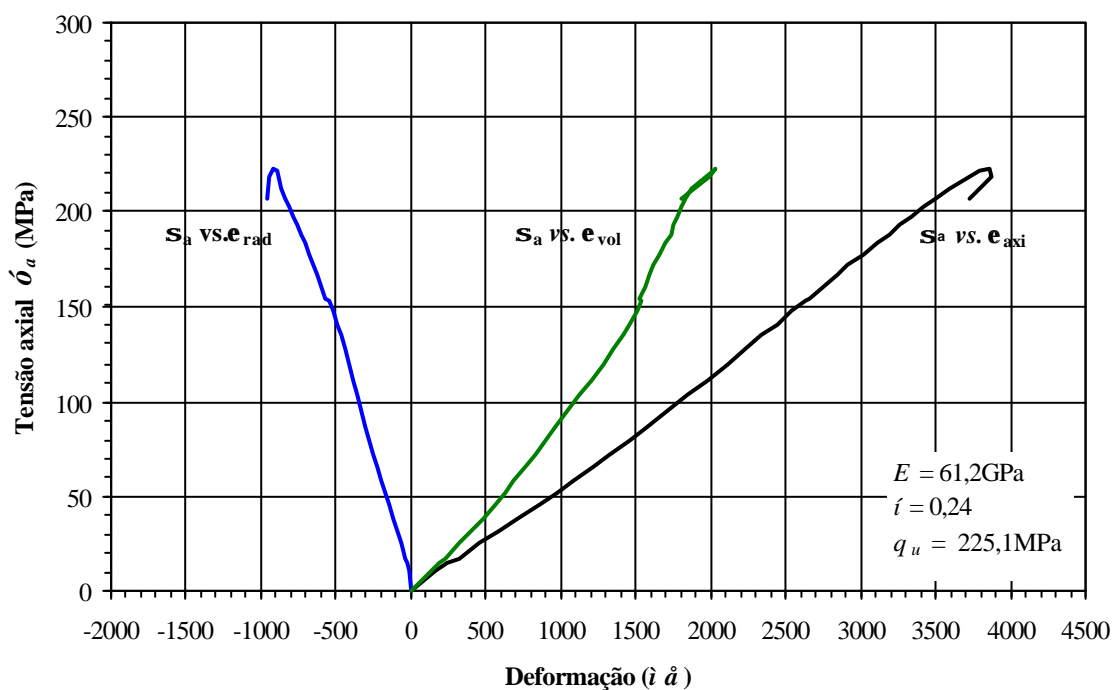


Figura ii.31 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L300(3)

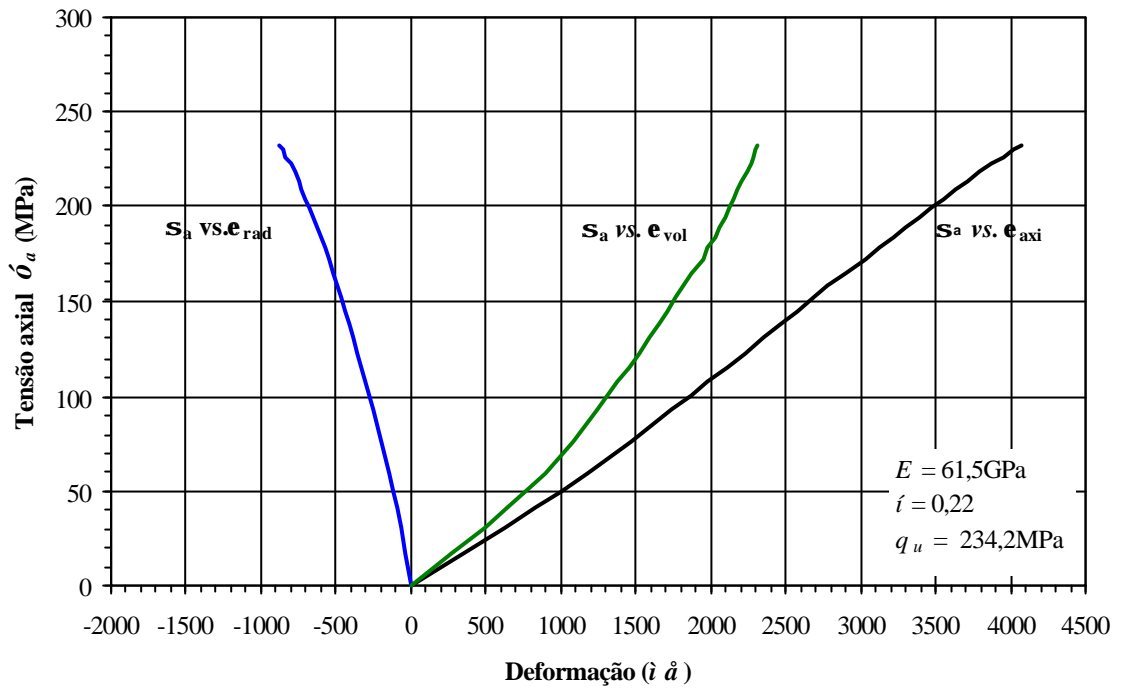


Figura ii.32 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L750(1)

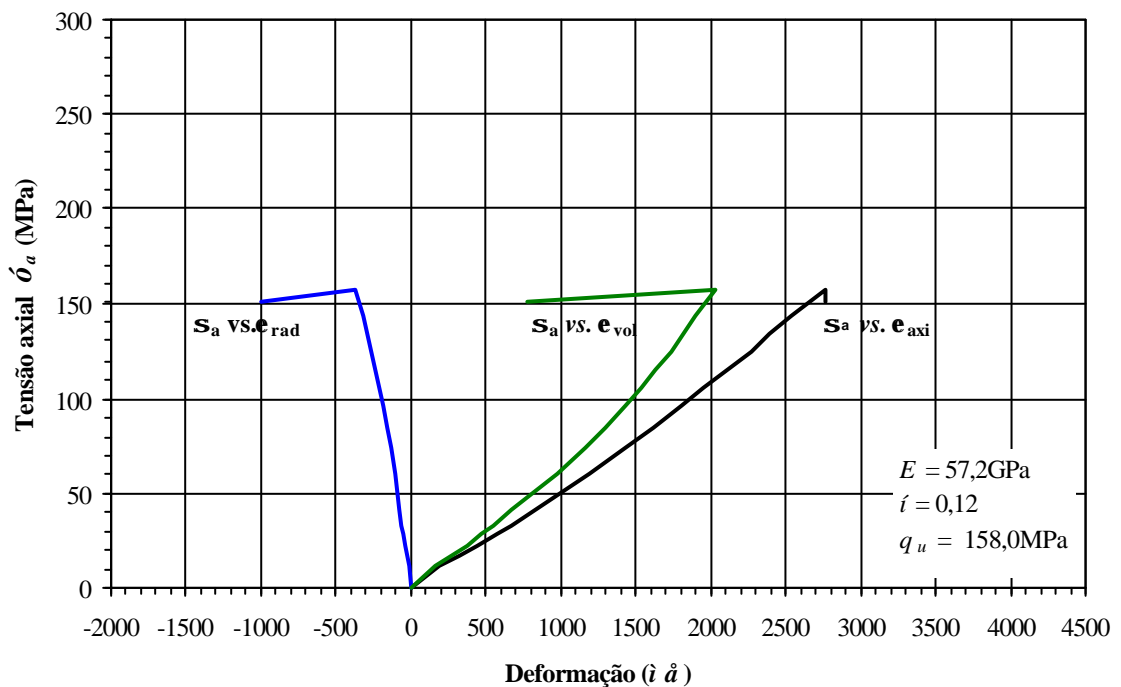


Figura ii.33 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L750(2)

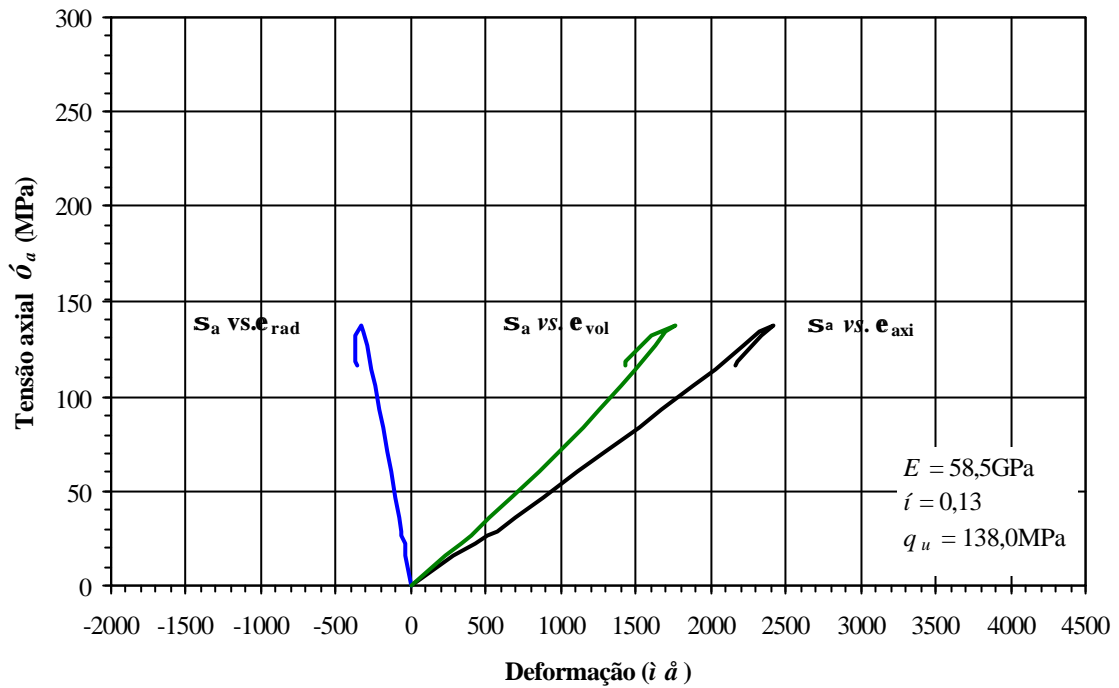


Figura ii.34 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L750(3)

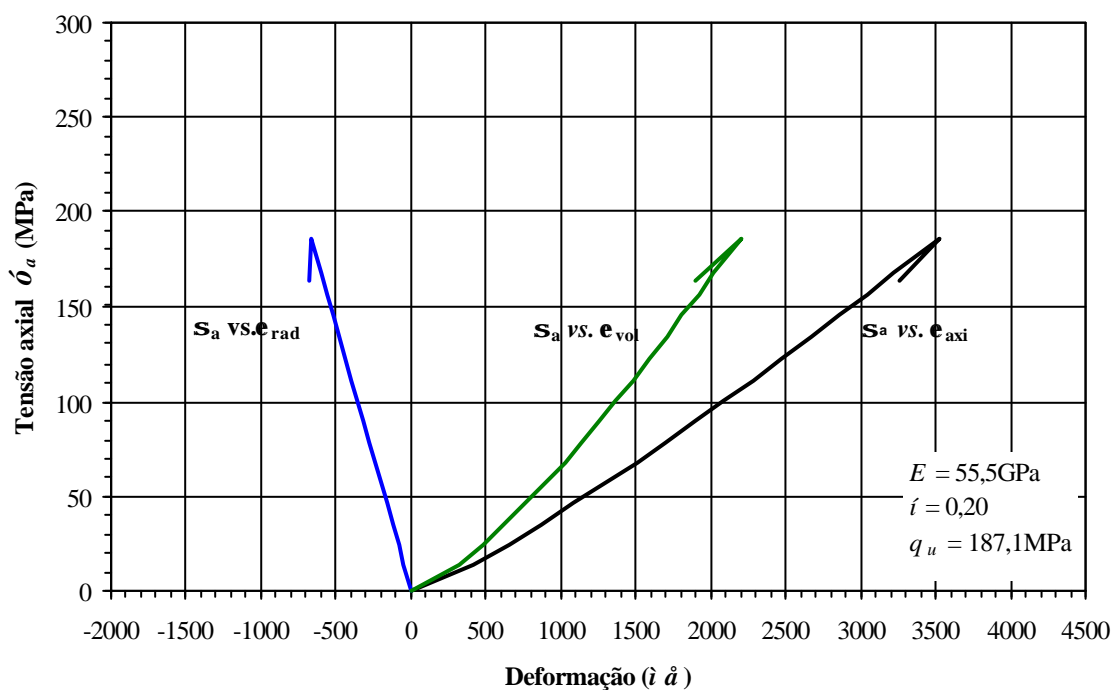


Figura ii.35 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L1500(1)

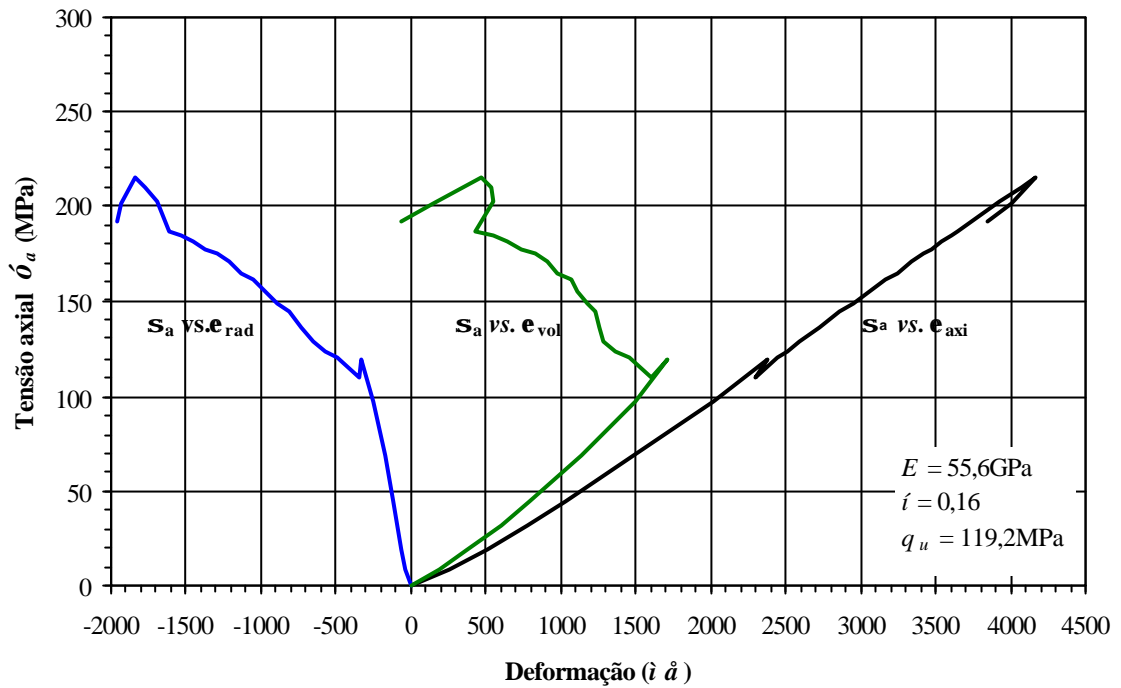


Figura ii.36 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L1500(2)

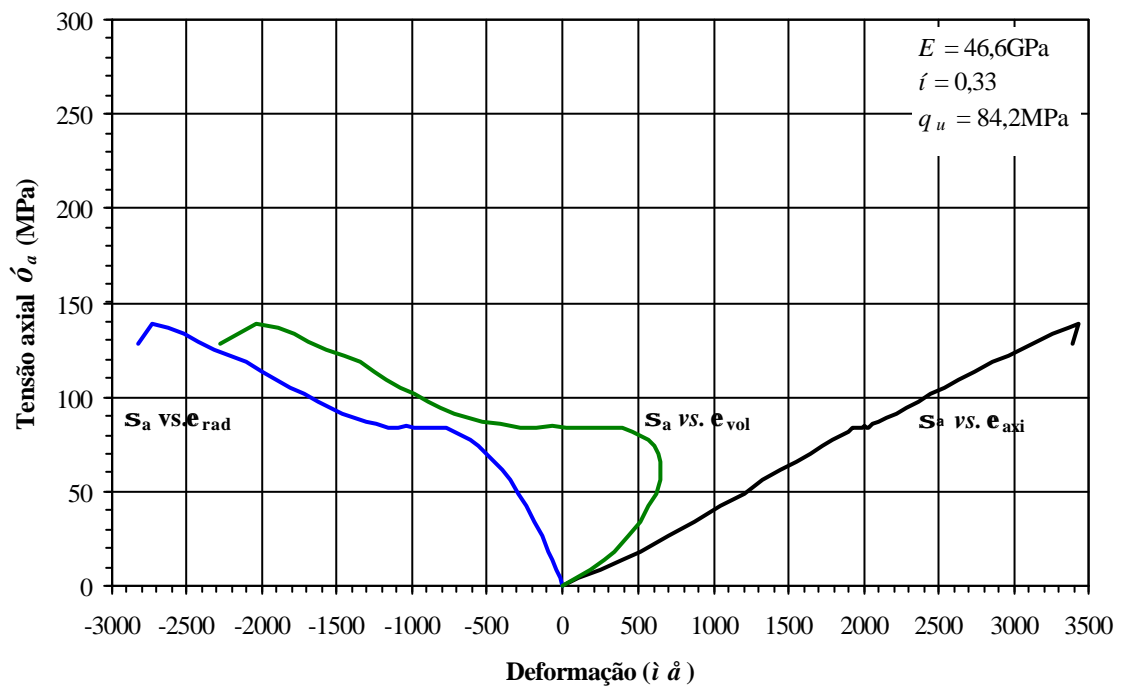


Figura ii.37 - Compressão uniaxial no basalto lixiviado da Pedreira Rio Grande: corpo de prova L3200(1)

## Apêndice III - RESULTADOS DOS ENSAIOS NO MACIÇO DE ENROCAMENTO

### III.1. Ensaio de compressão unidimensional nos enrocamentos

Os resultados dos ensaios de compressão unidimensional nos enrocamentos são apresentados nas Figuras iii.1 a iii.15. São mostrados as curvas: módulo de compressibilidade  $M$  vs. tensão efetiva vertical  $\mathbf{s}'_v$  e  $\mathbf{s}'_v$  vs. a deformação vertical  $\mathbf{e}_v$ .

O módulo  $M$  é definido como:

$$M = \frac{d\mathbf{s}'_v}{d\mathbf{e}_v} \quad (\text{V.1})$$

ou seja, a tangente à curva  $\mathbf{s}'_v$  vs.  $\mathbf{e}_v$ .

O nível de tensão efetiva vertical no ensaios onde se executou inundação do corpo de prova foi de aproximadamente 2000kPa.

A metodologia de execução dos ensaios e as características dos corpos de prova são apresentadas no item 5.6.2.

A identificação dos ensaios segue a nomenclatura indicada no item 5.2. A identificação da granulometria utilizada em cada ensaio é feita através do valor do diâmetro  $d_{50}$  em milímetros.

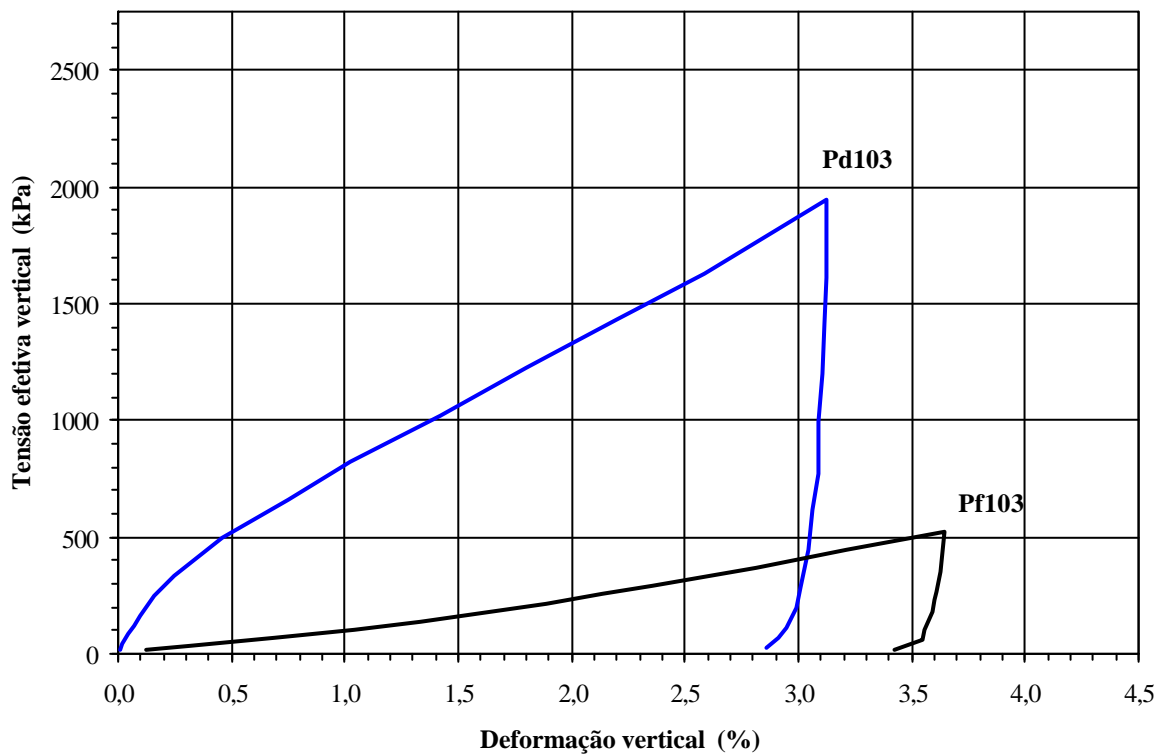
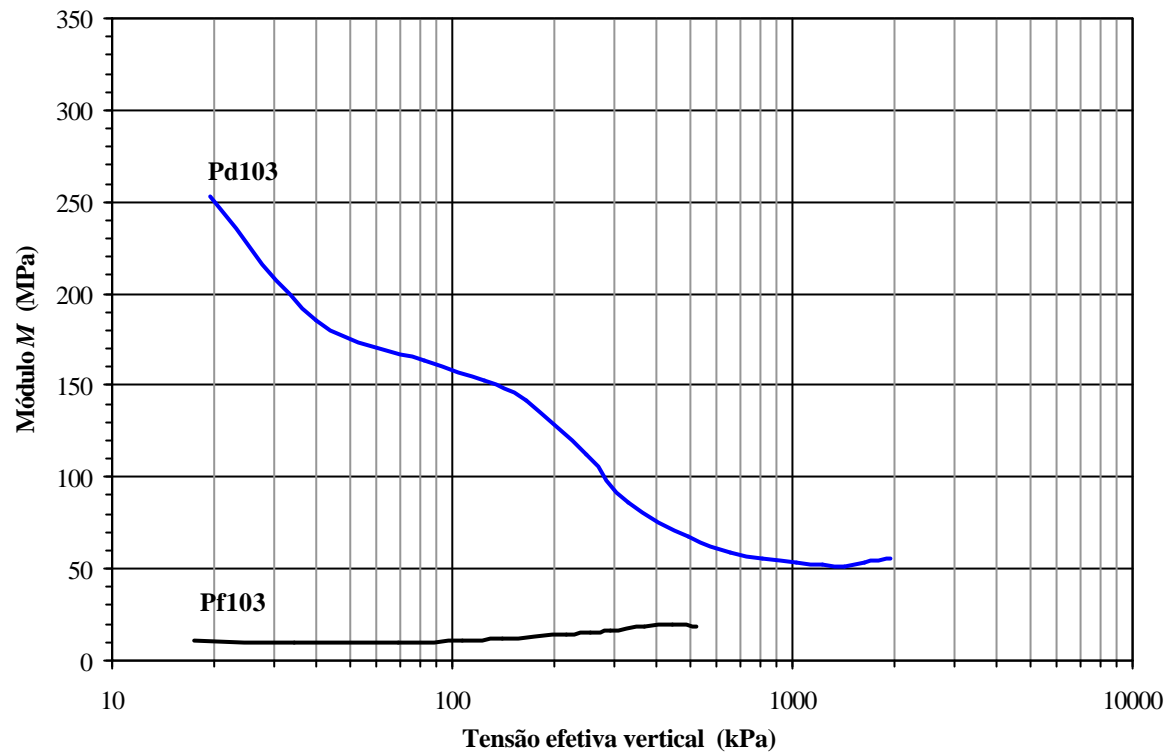


Figura iii.1 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande com granulometria 103.

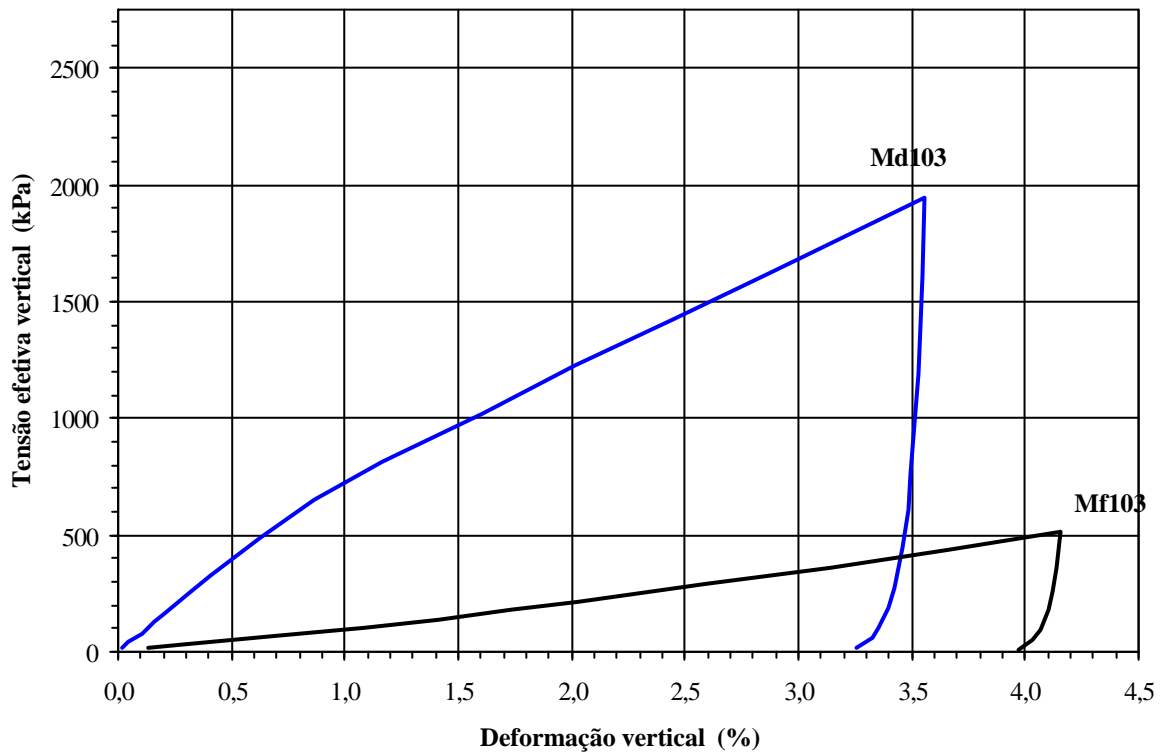
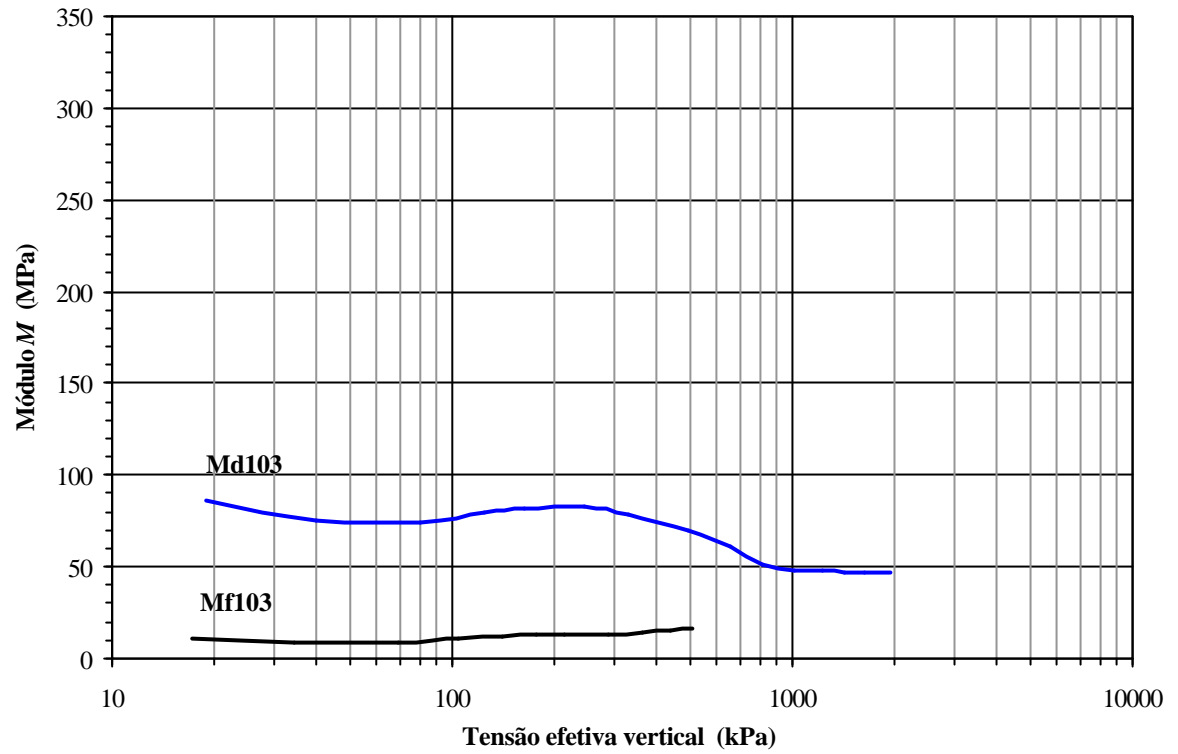


Figura iii.2 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Barragem de Marimondo com granulometria 103.

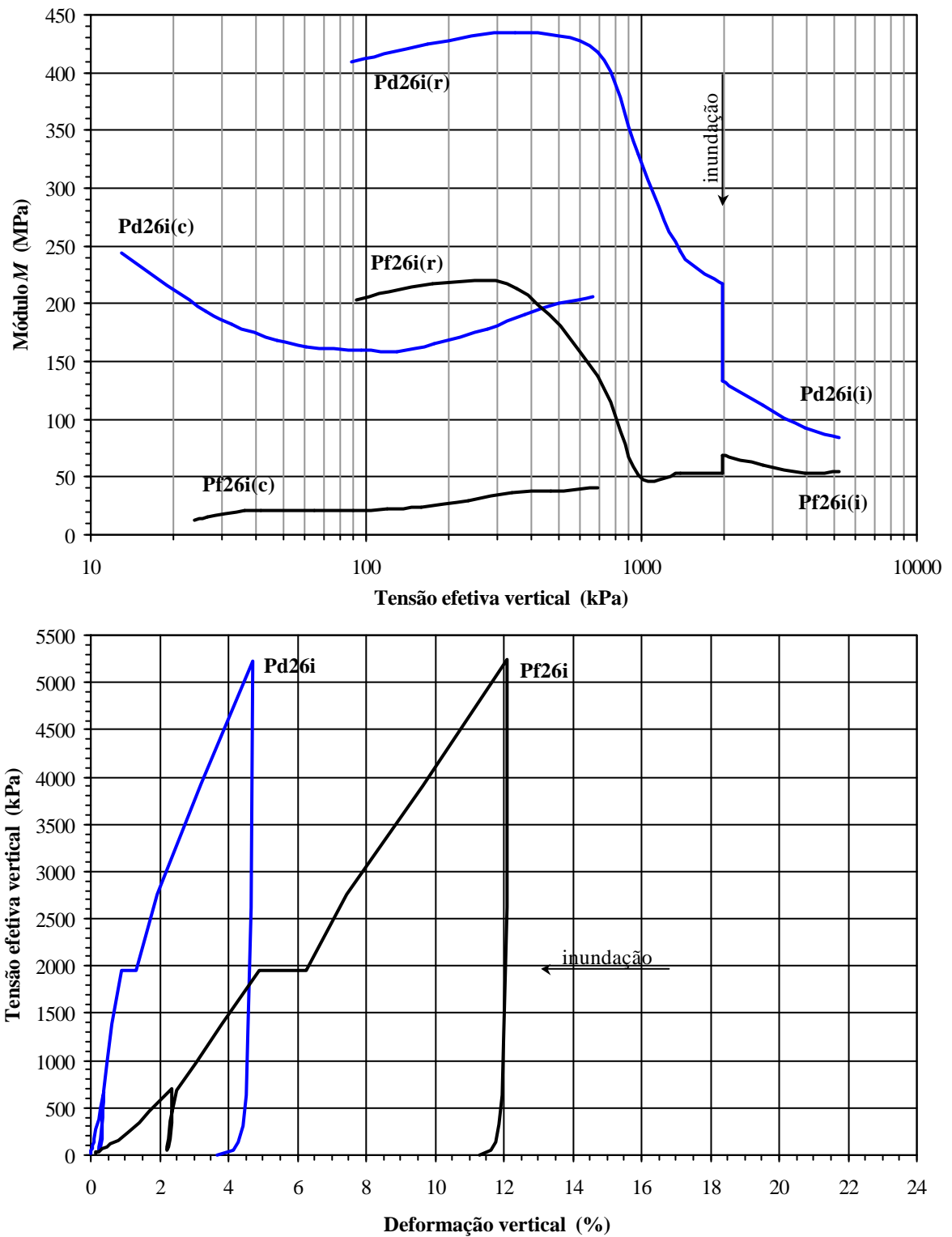


Figura iii.3 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande com granulometria 26.



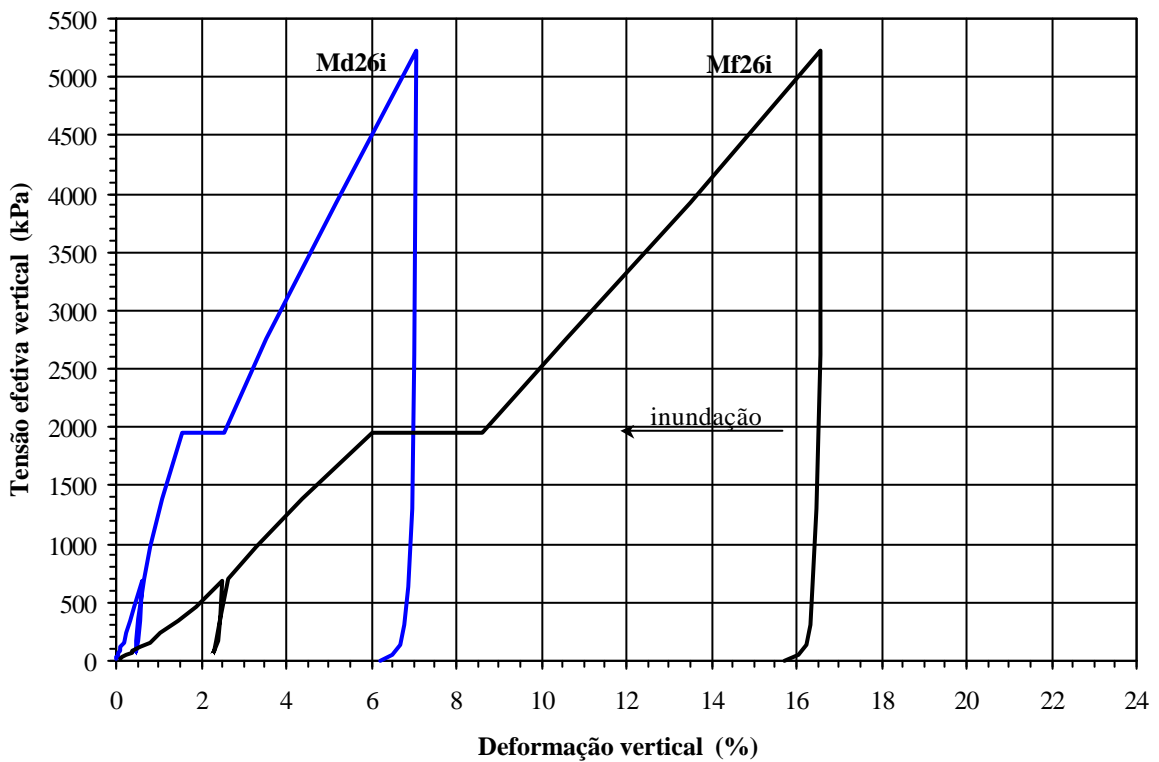
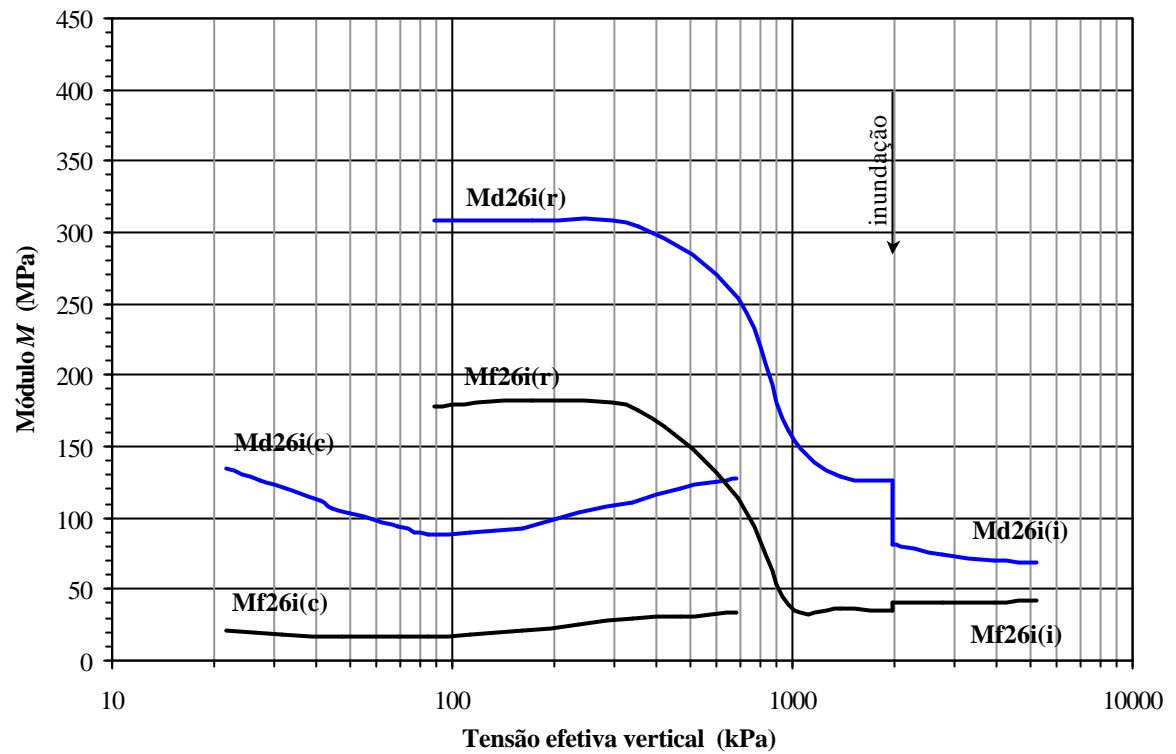


Figura iii.4 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Barragem de Marimondo com granulometria 26.

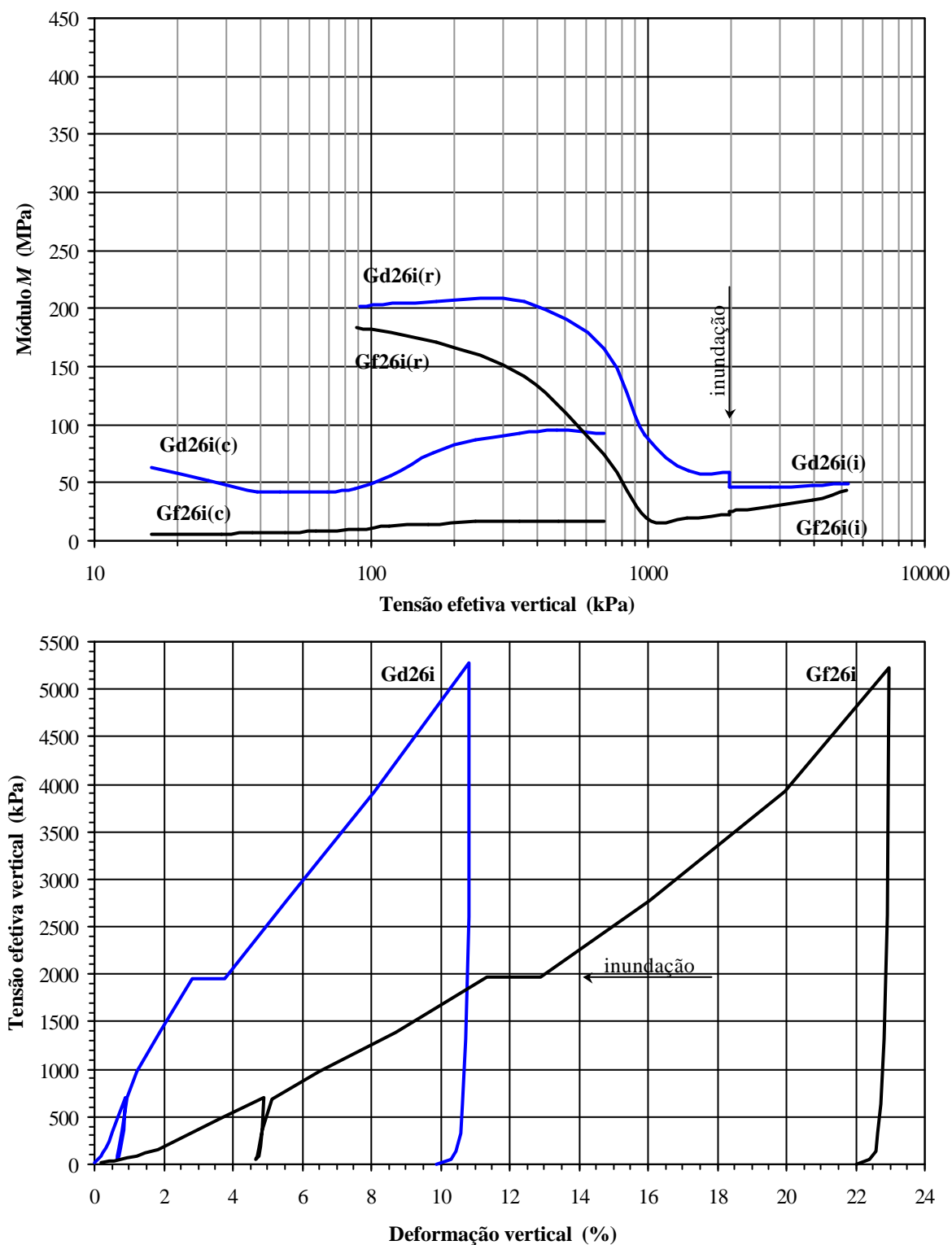


Figura iii.5 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de granito da Barragem de Serra da Mesa com granulometria 26.

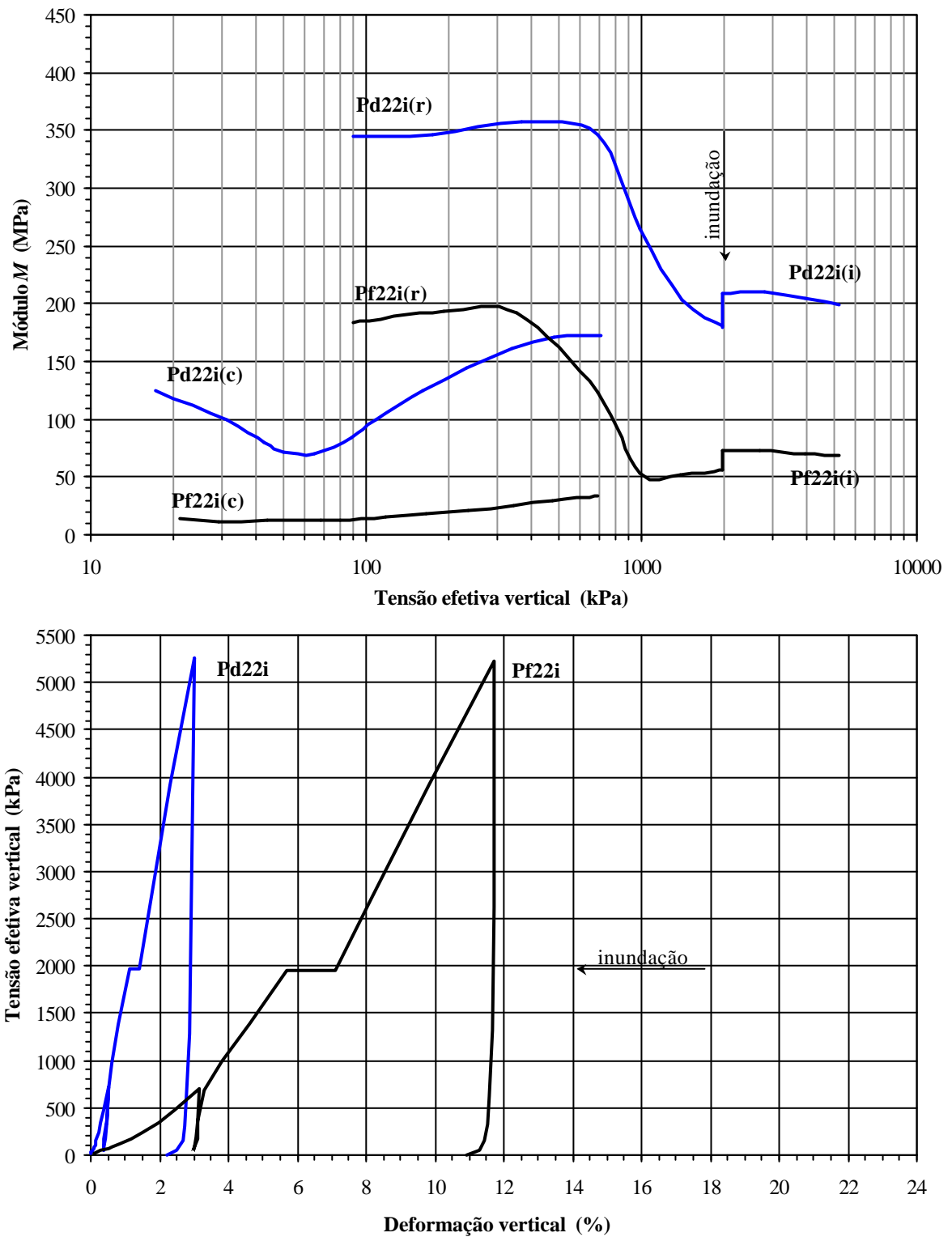


Figura iii.6 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande com granulometria 22.

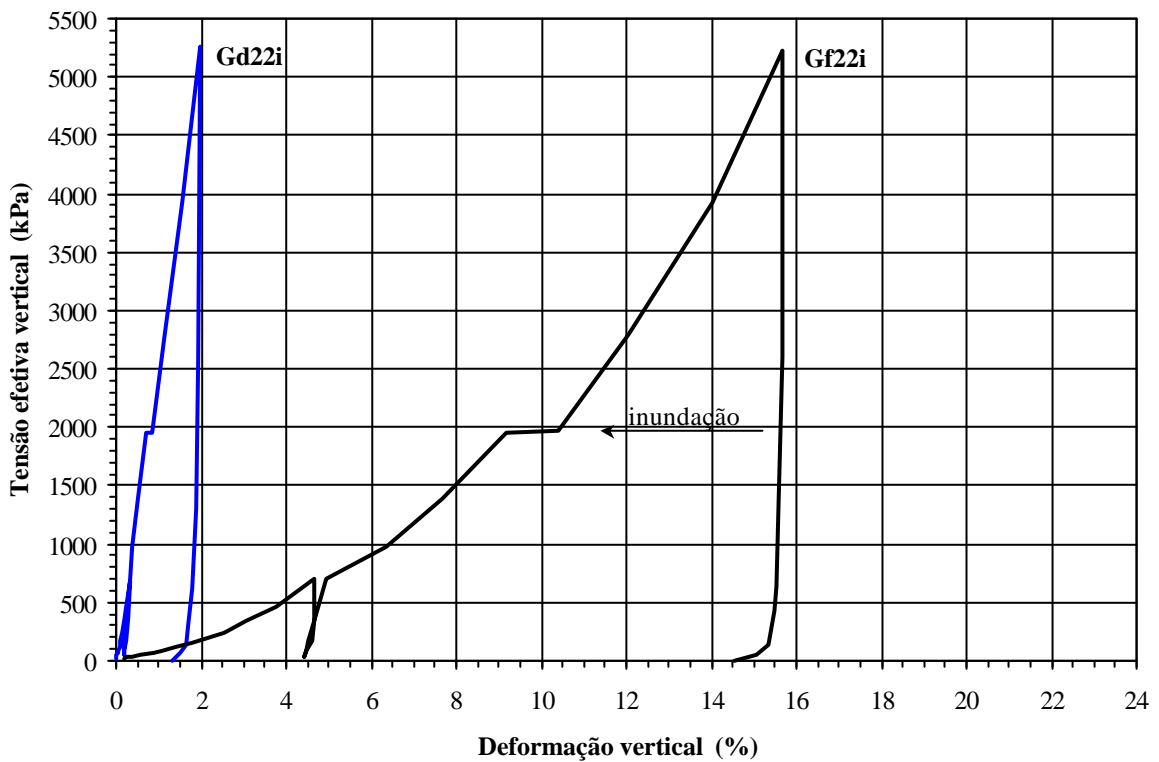
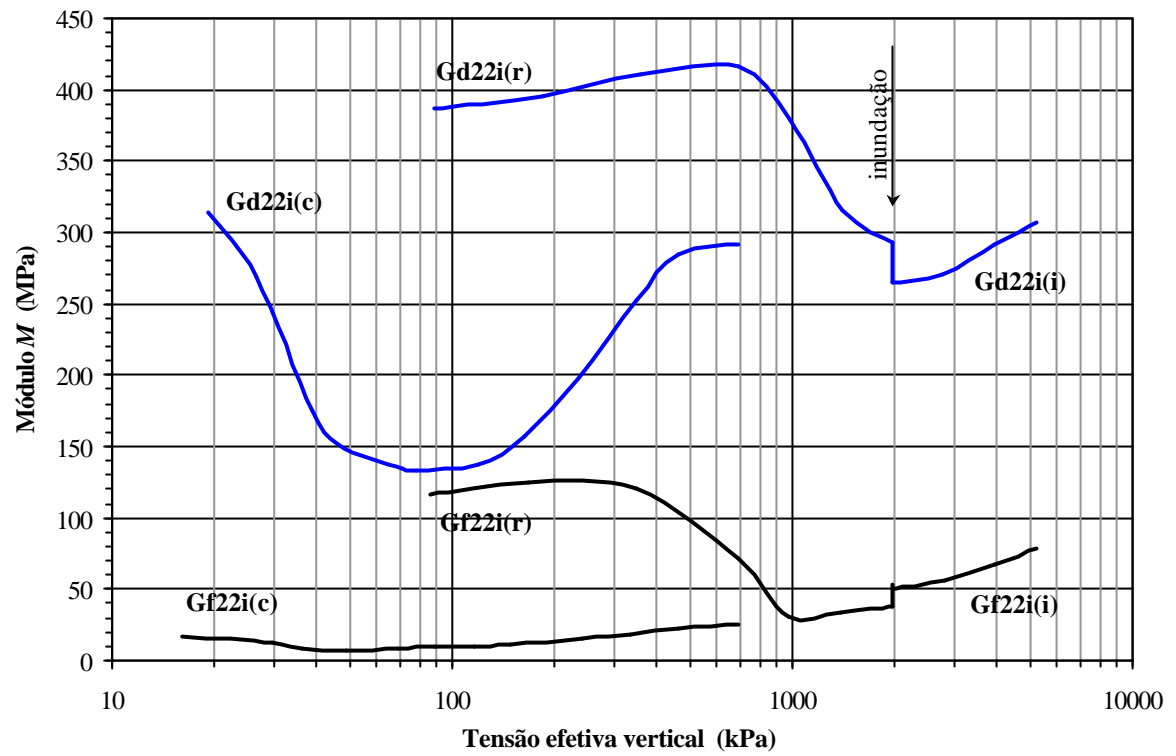


Figura iii.7 – Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de granito da Barragem de Serra da Mesa com granulometria 22.

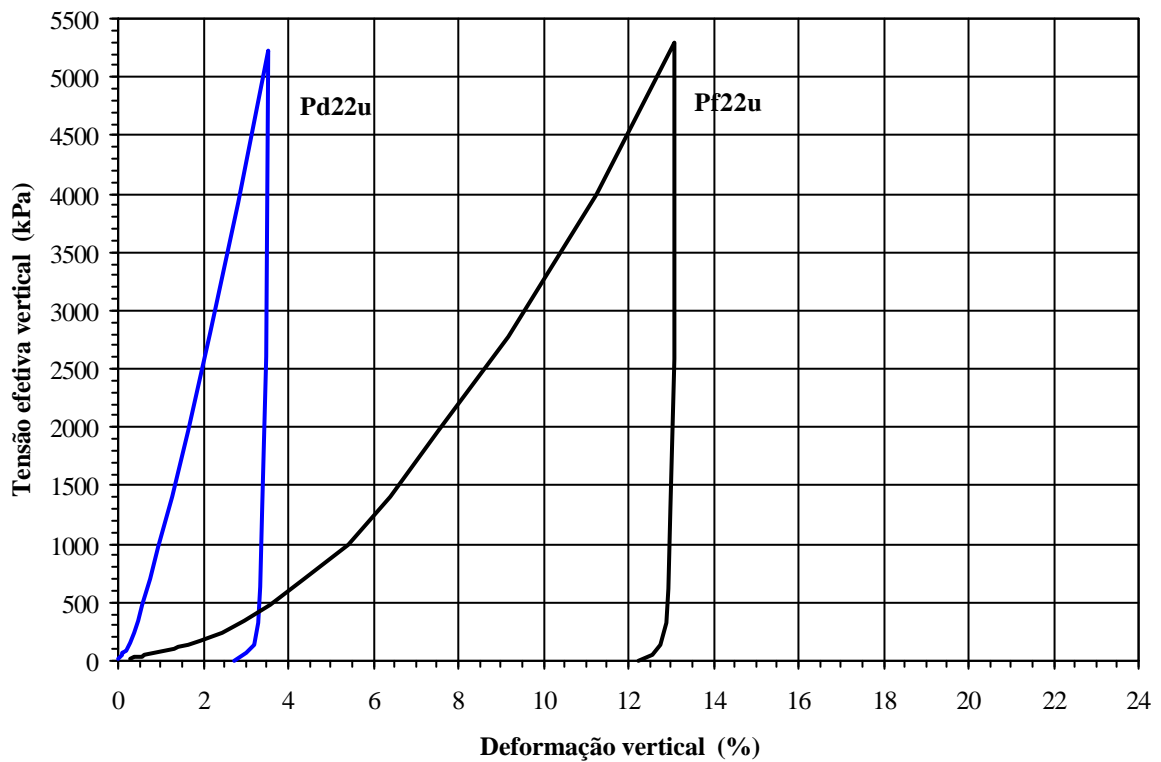
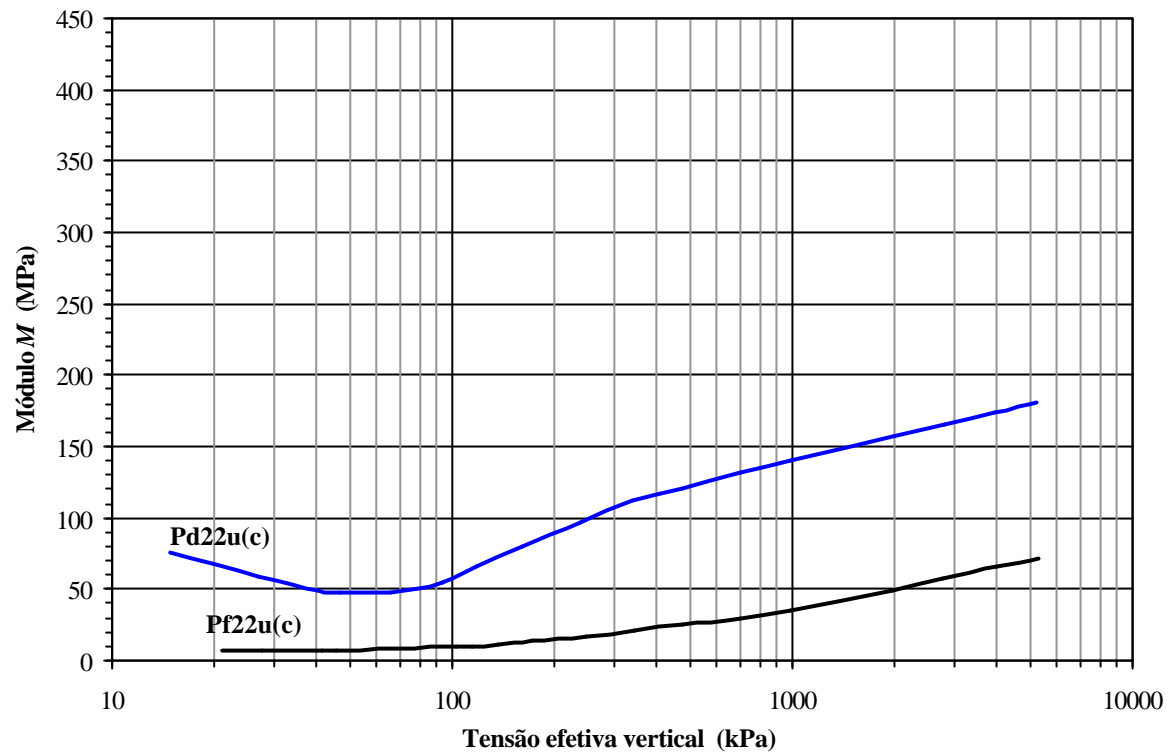


Figura iii.8 - Compressão unidimensional em enrocamentos submerso denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande com granulometria 22.

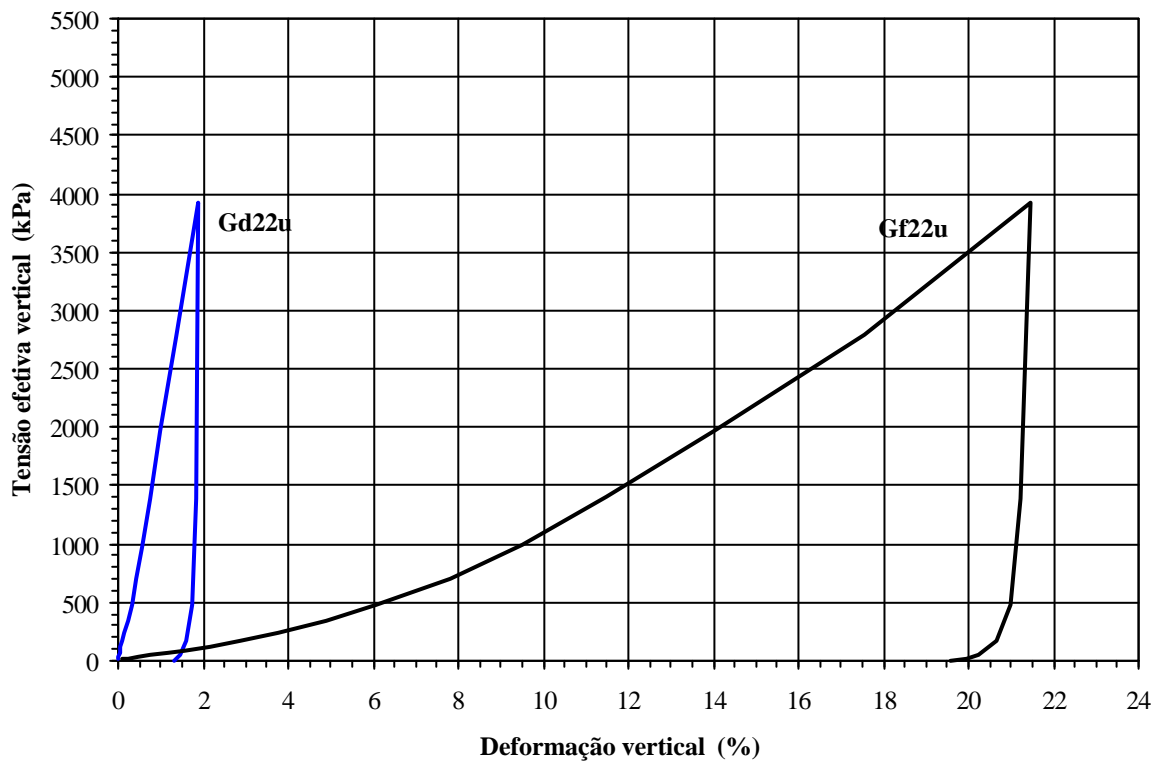
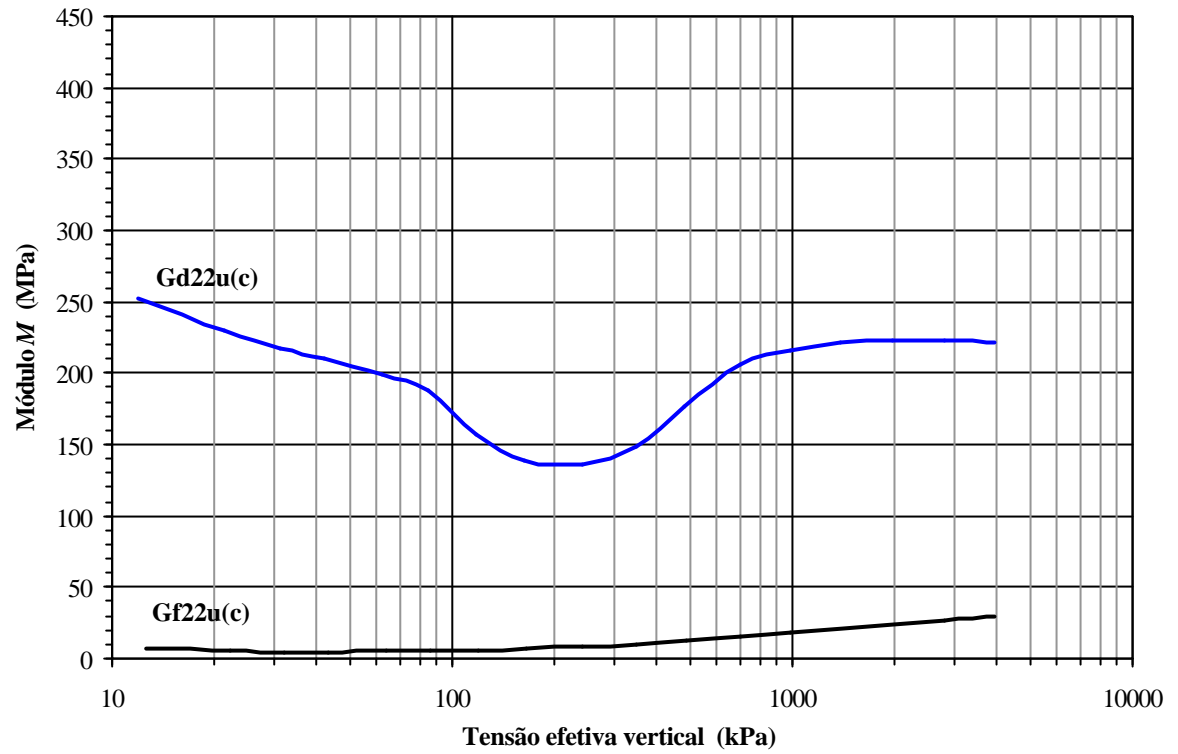


Figura iii.9 - Compressão unidimensional em enrocamentos submersos denso e fofo de granito de Serra da Mesa com granulometria 22.

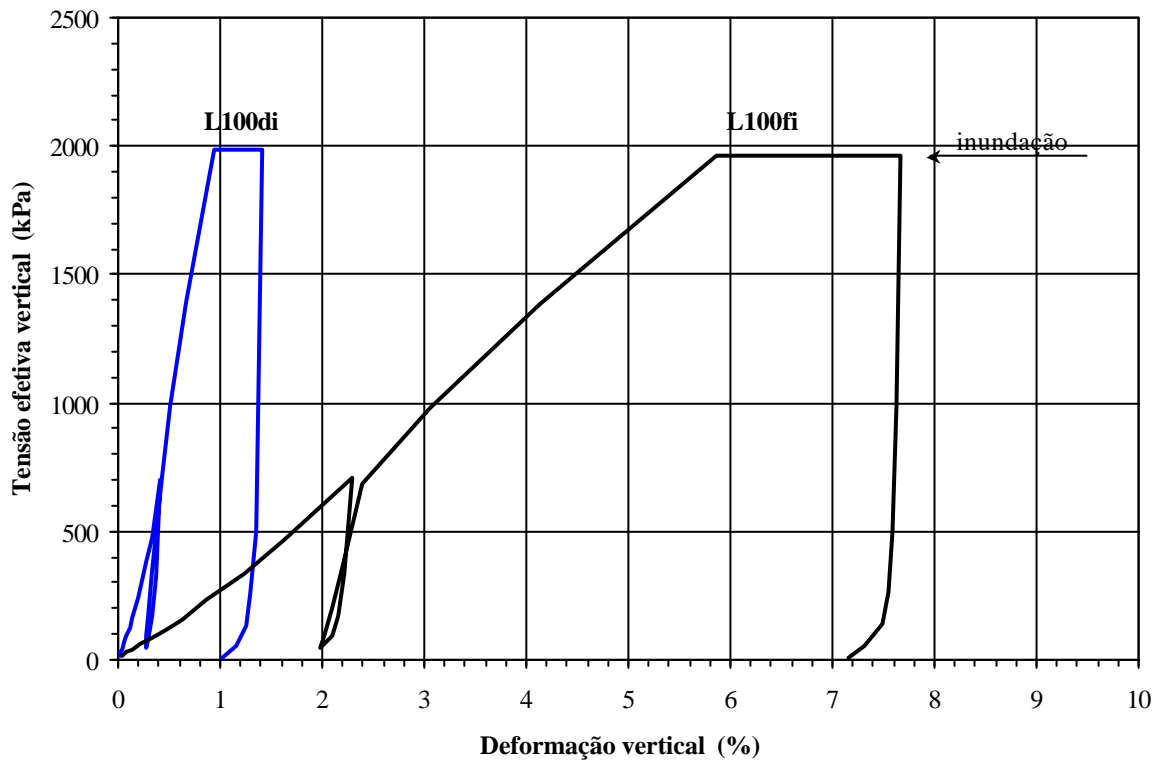
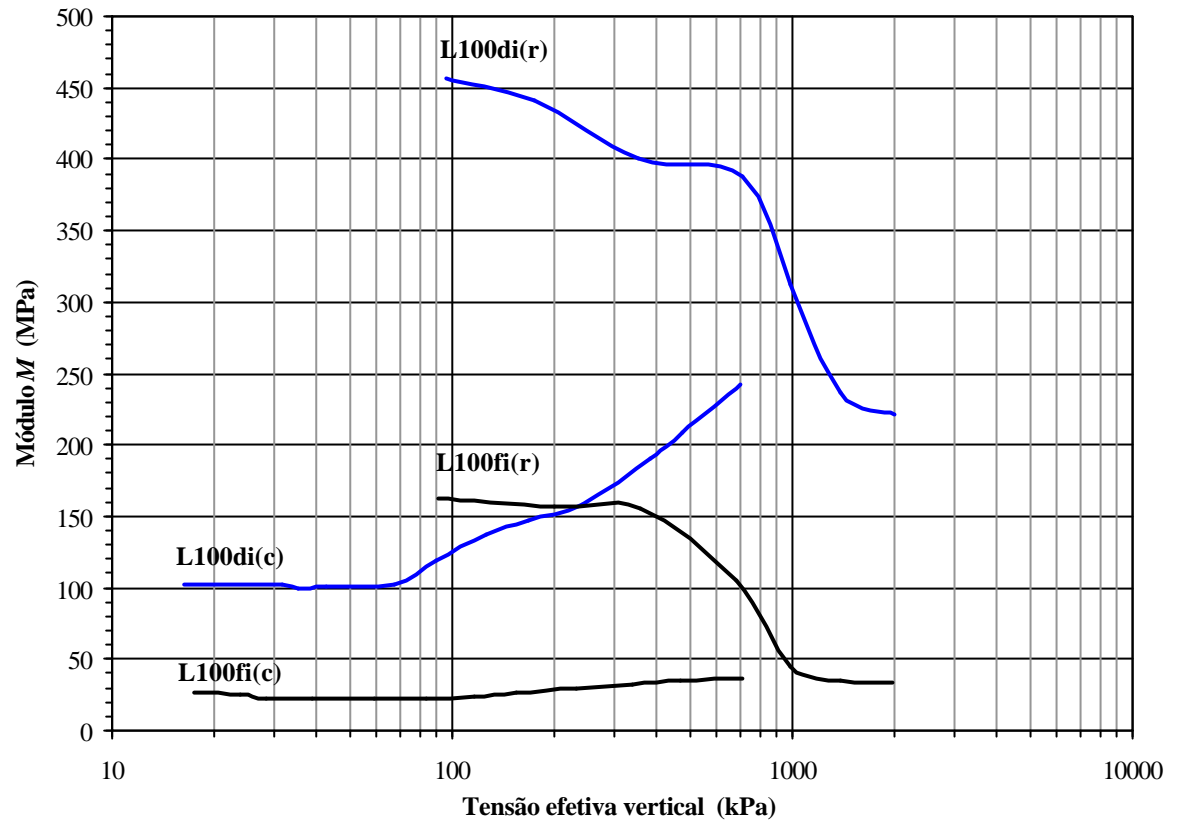


Figura iii.10 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 100h com granulometria 26.

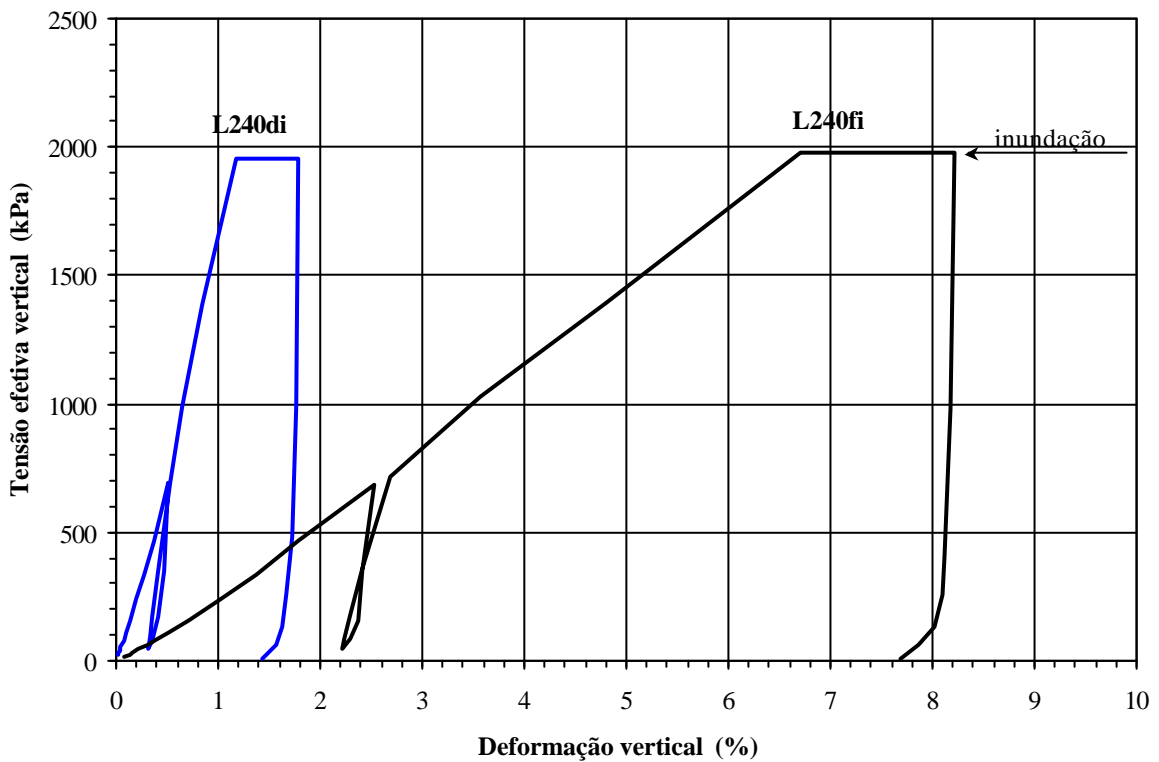
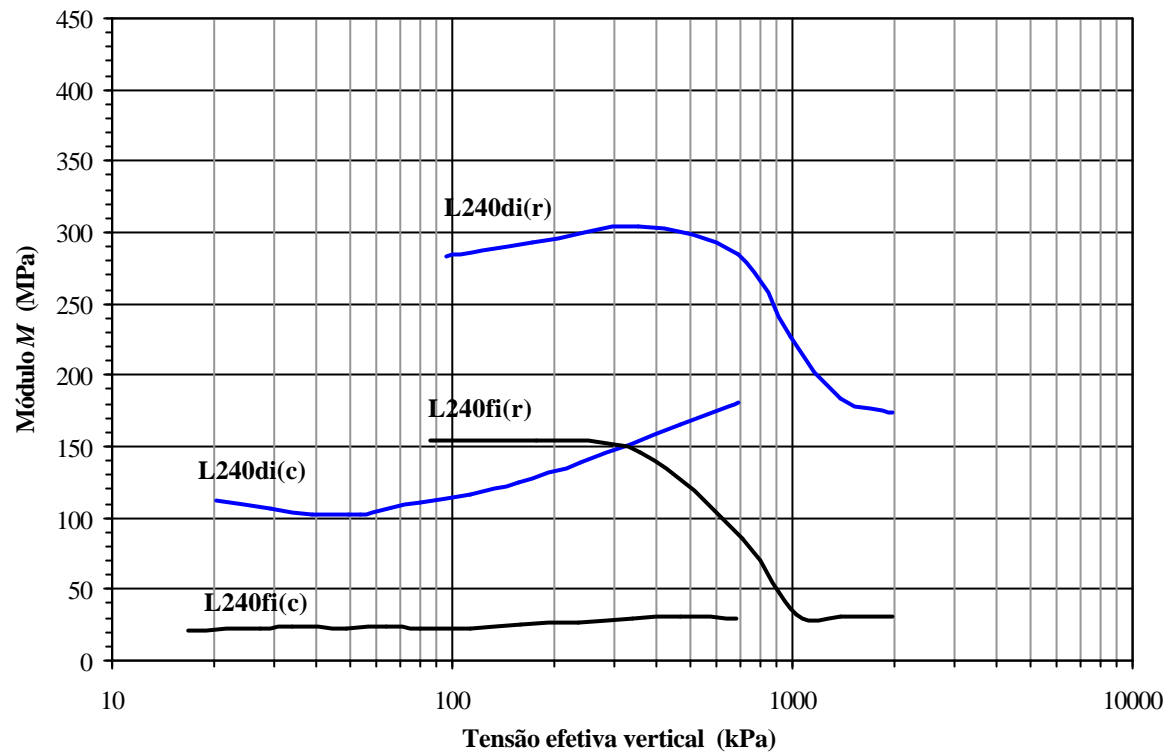


Figura iii.11 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 240h com granulometria 26.



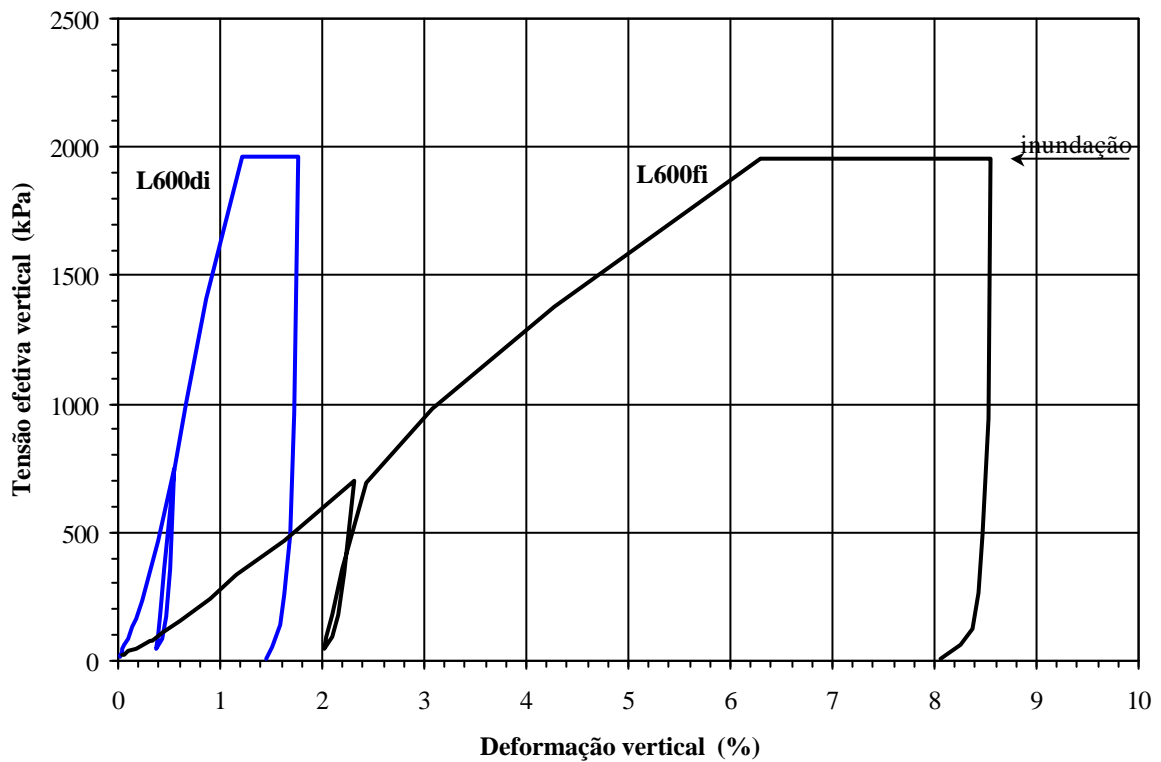
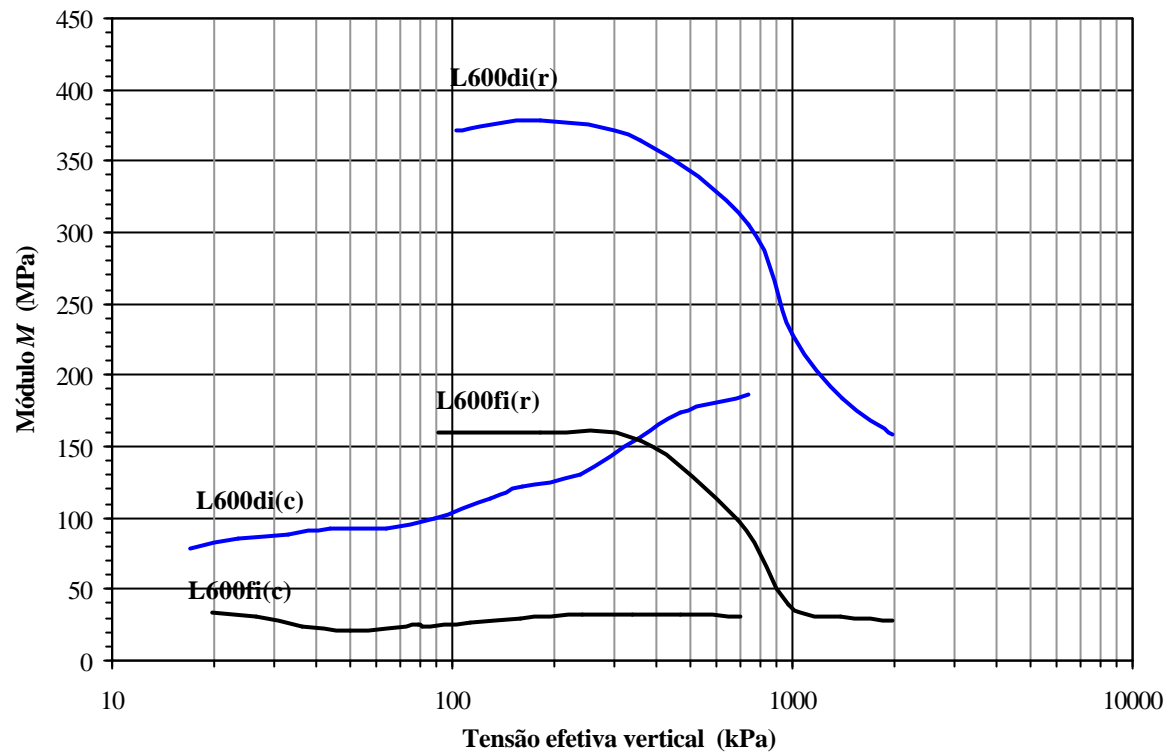


Figura iii.12 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 600h com granulometria 26.

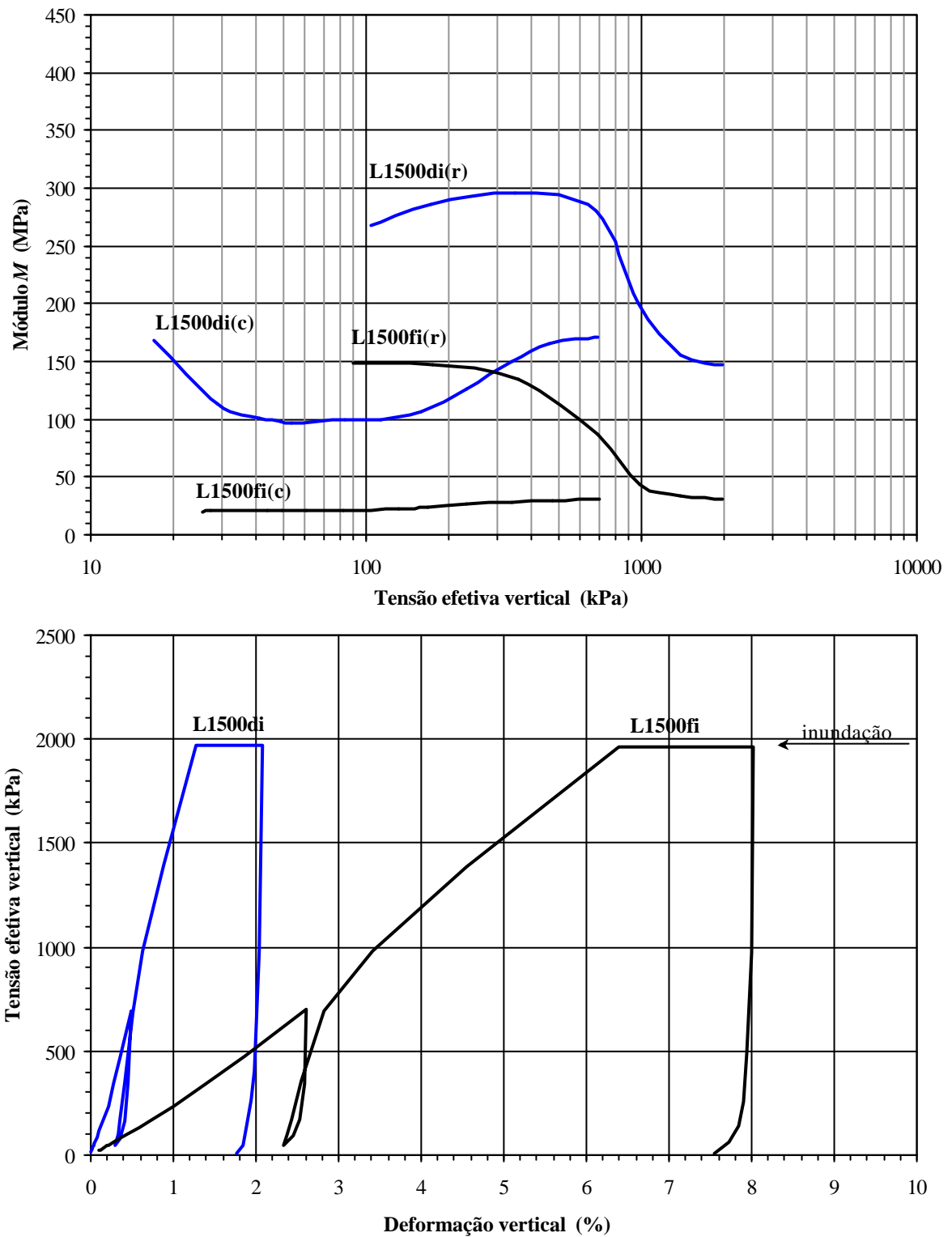


Figura iii.13 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 1500h com granulometria 26.

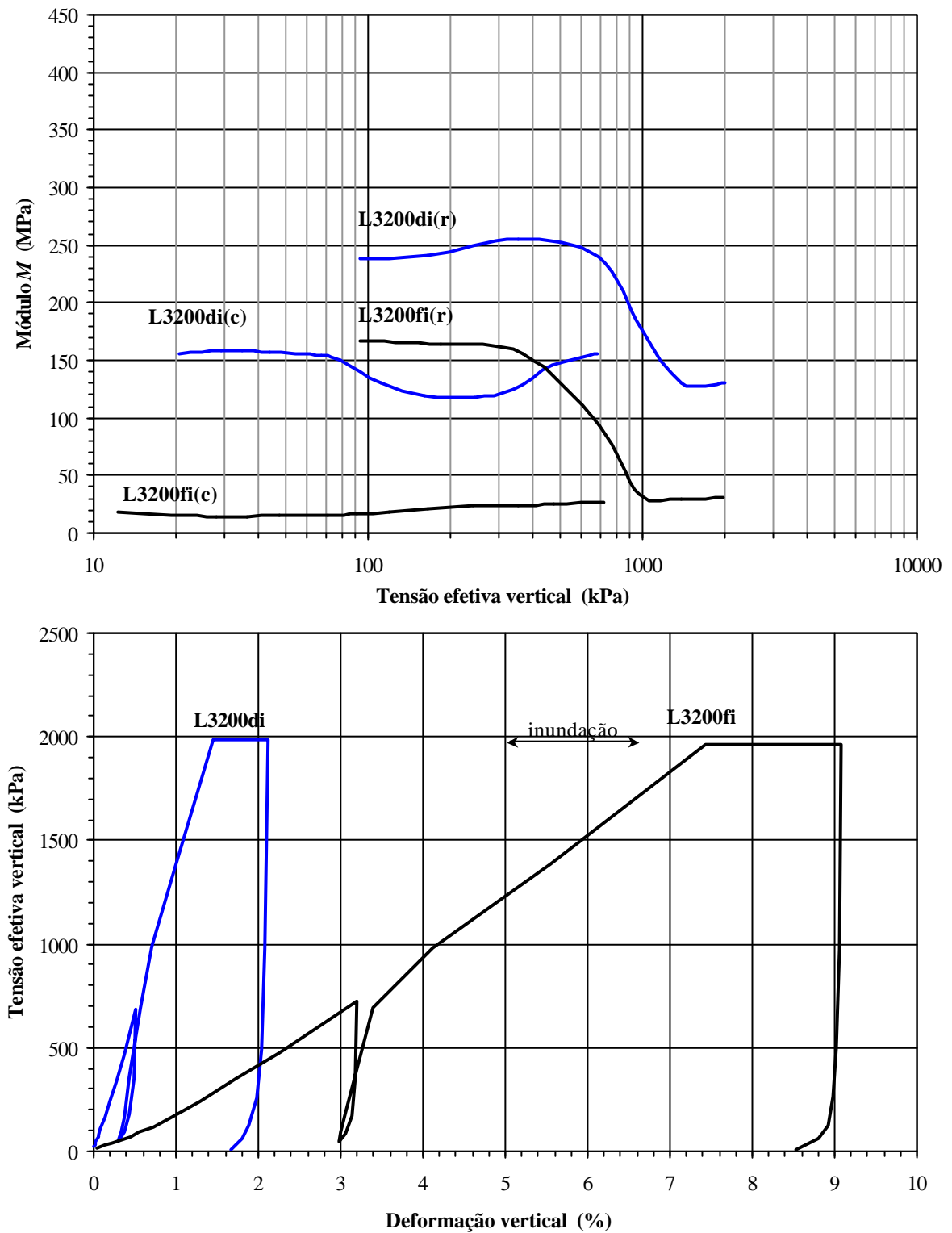


Figura iii.14 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande lixiviado por 3200h com granulometria 26.

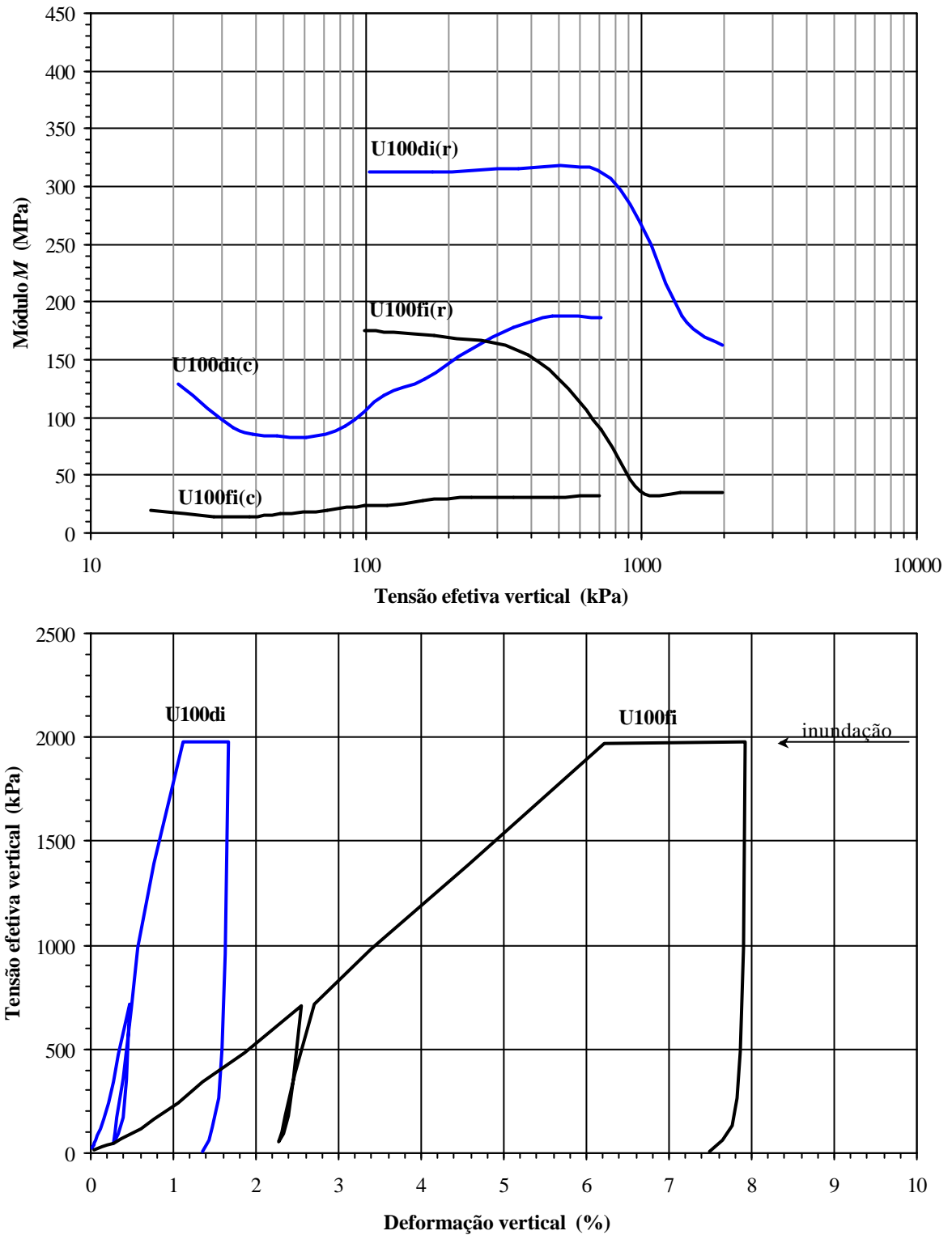


Figura iii.15 - Compressão unidimensional em enrocamentos denso e fofo de basalto da Pedreira Rio Grande com 100 ciclos de umidade com granulometria 26.

### III.2. Ensaio de compressão triaxial nos enrocamentos

As Figuras iii.16 a iii.23 apresentam os resultados dos ensaios de compressão triaxial drenada, em corpos de prova de enrocamento, através das curvas tensão desviadora  $\mathbf{S}_1 - \mathbf{S}_3$  vs. deformação axial  $\mathbf{e}_1$  e deformação volumétrica  $\mathbf{e}_v$  vs. deformação axial  $\mathbf{e}_1$ . As Figuras iii.22 a iii.27 mostram os círculos de Mohr e as envoltórias de resistência referentes aos enrocamentos ensaiados.

A metodologia de execução dos ensaios e as características dos corpos de prova são apresentadas no item 5.6.3.

A identificação dos ensaios segue a nomenclatura indicada no item 5.2. A identificação da granulometria utilizada em cada ensaio é feita através valor do diâmetro  $d_{50}$  em milímetros.

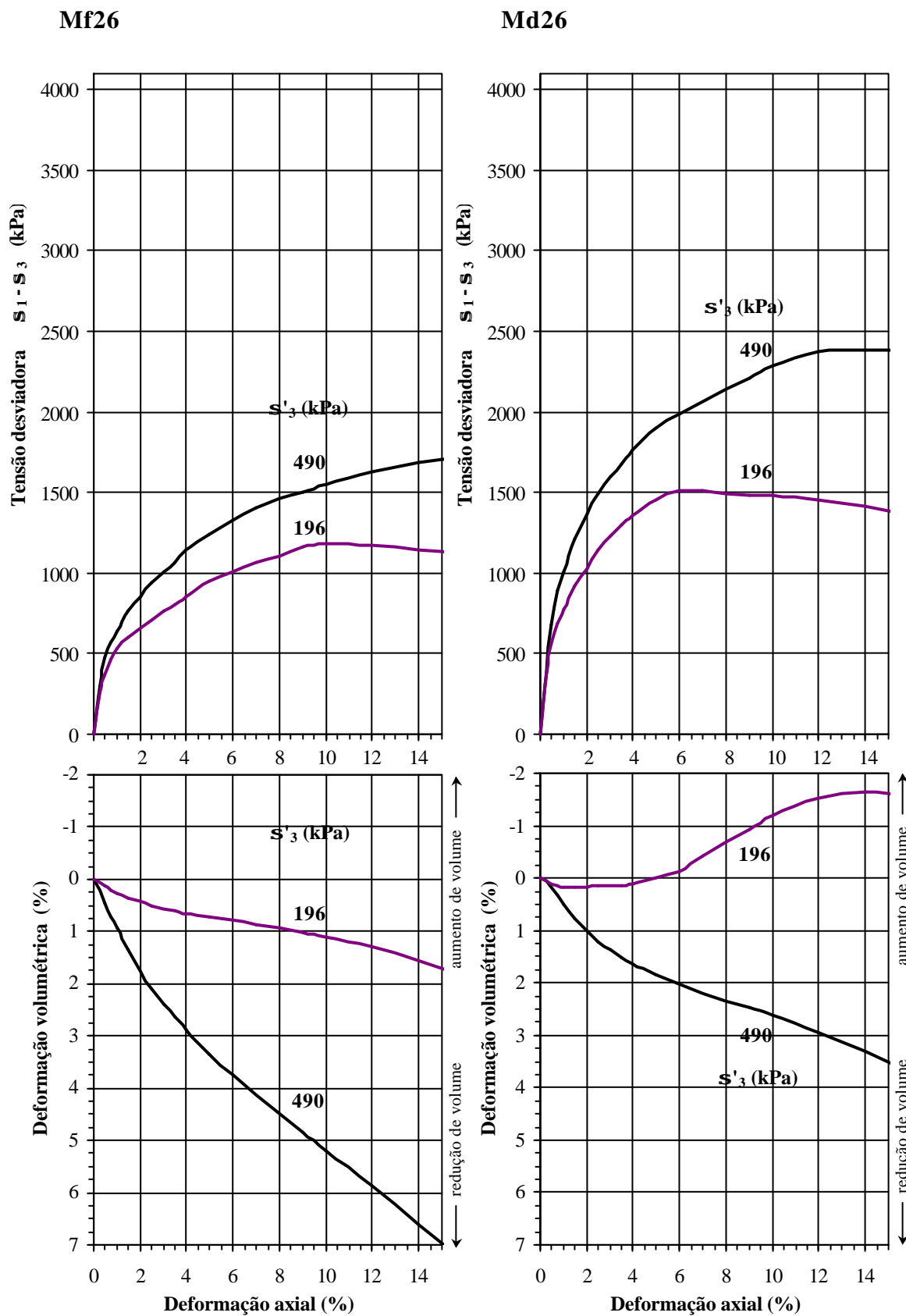


Figura iii.16 - Compressão triaxial em enrocamento de basalto da Barragem de Marimondo, com granulometria 26.

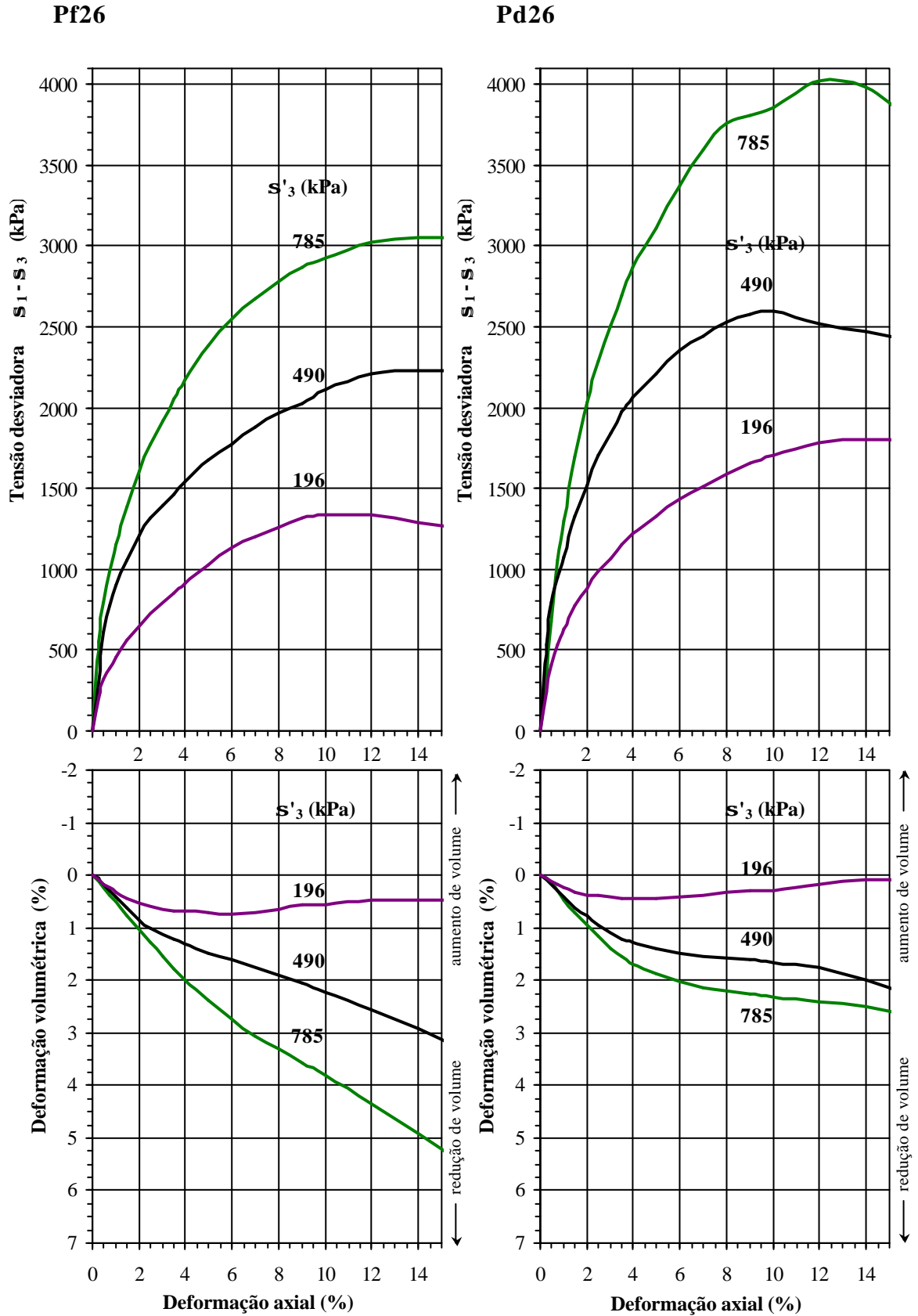


Figura iii.17 - Compressão triaxial em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, com granulometria 26.

## Gd26

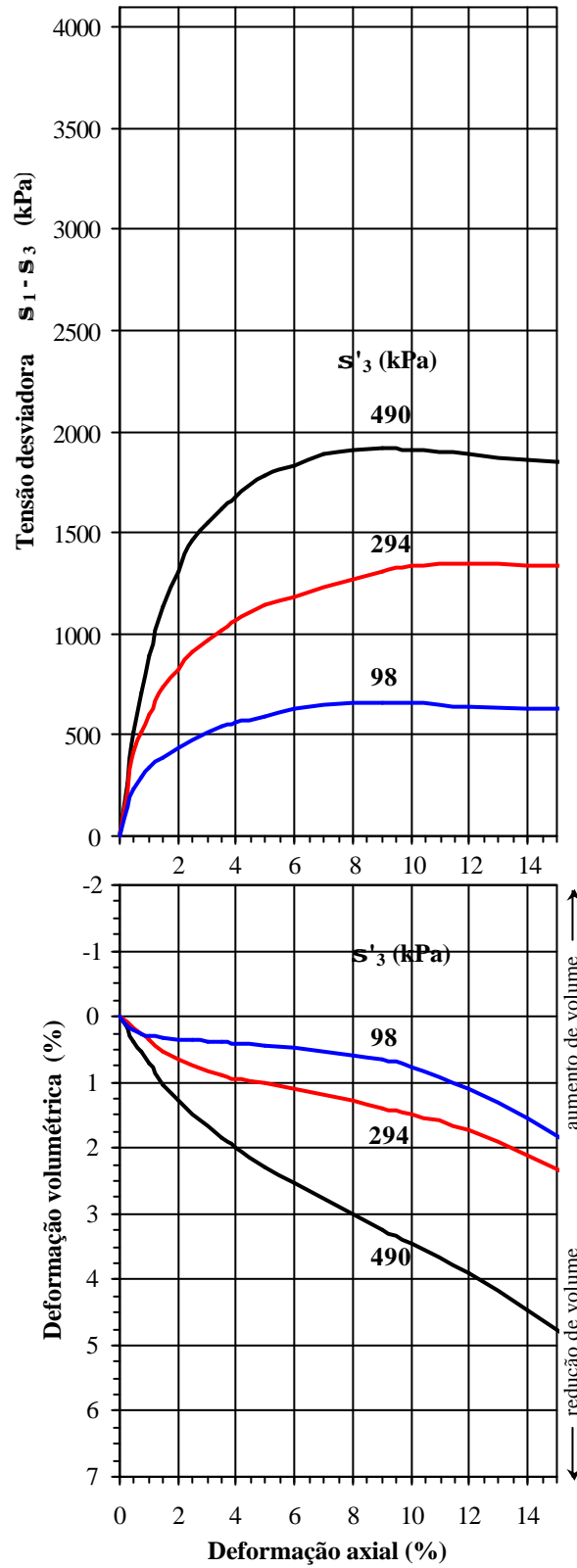


Figura iii.18 - Compressão triaxial em enrocamento de granito da Barragem de Serra da Mesa, com granulometria 26.



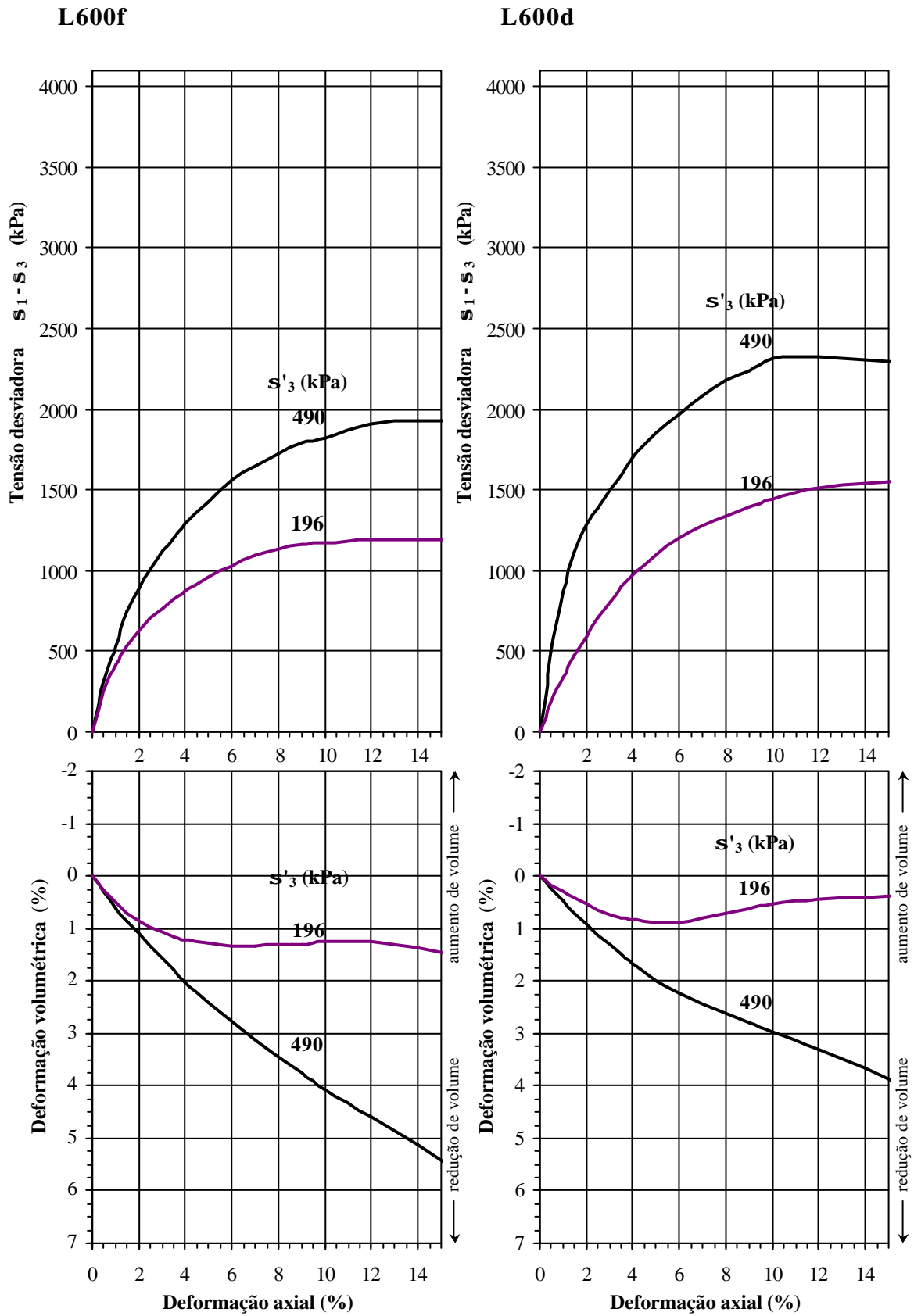


Figura iii.19 - Compressão triaxial do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 600h, com granulometria 26.



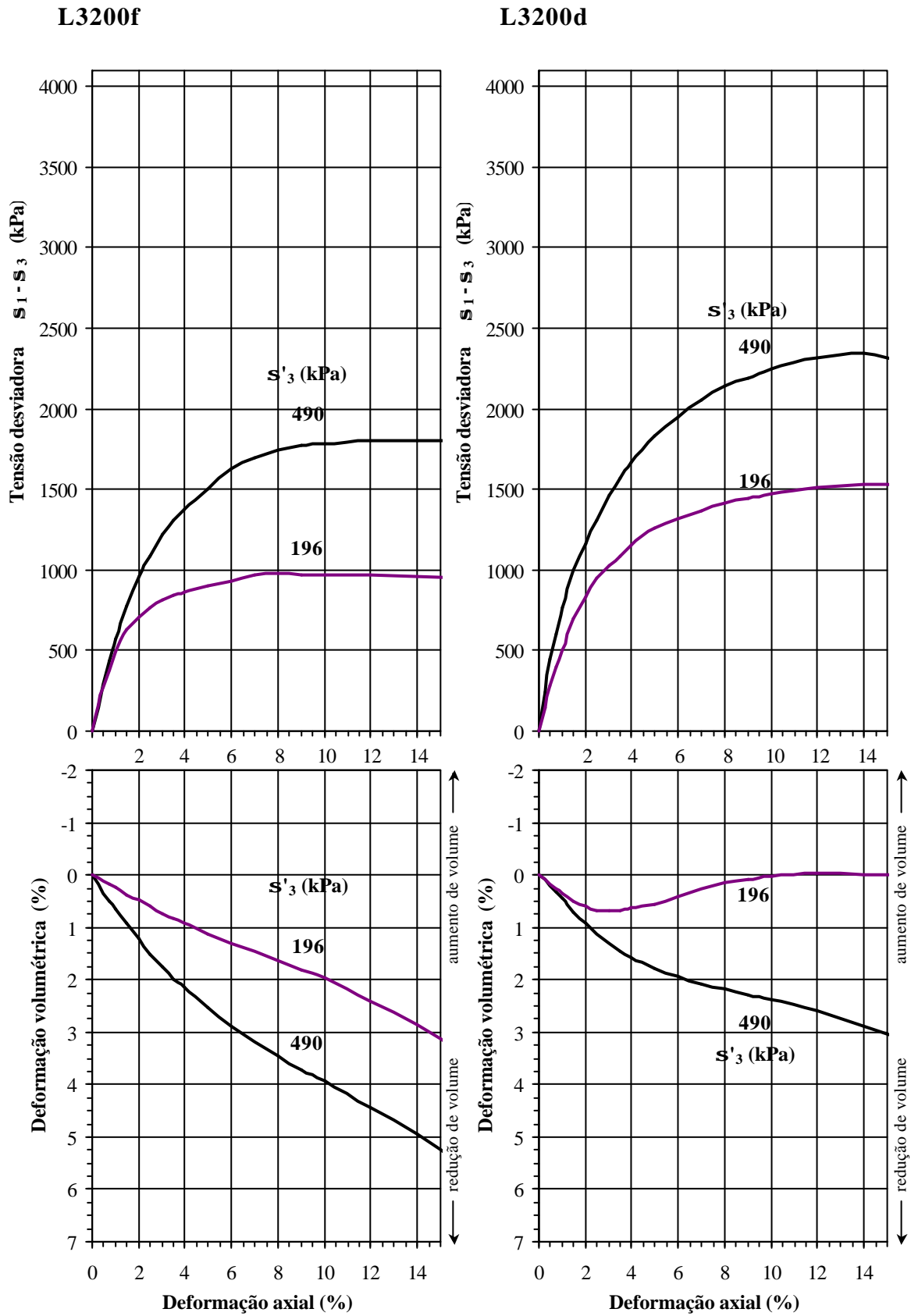


Figura iii.21 - Compressão triaxial do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 3200h, com granulometria 26.

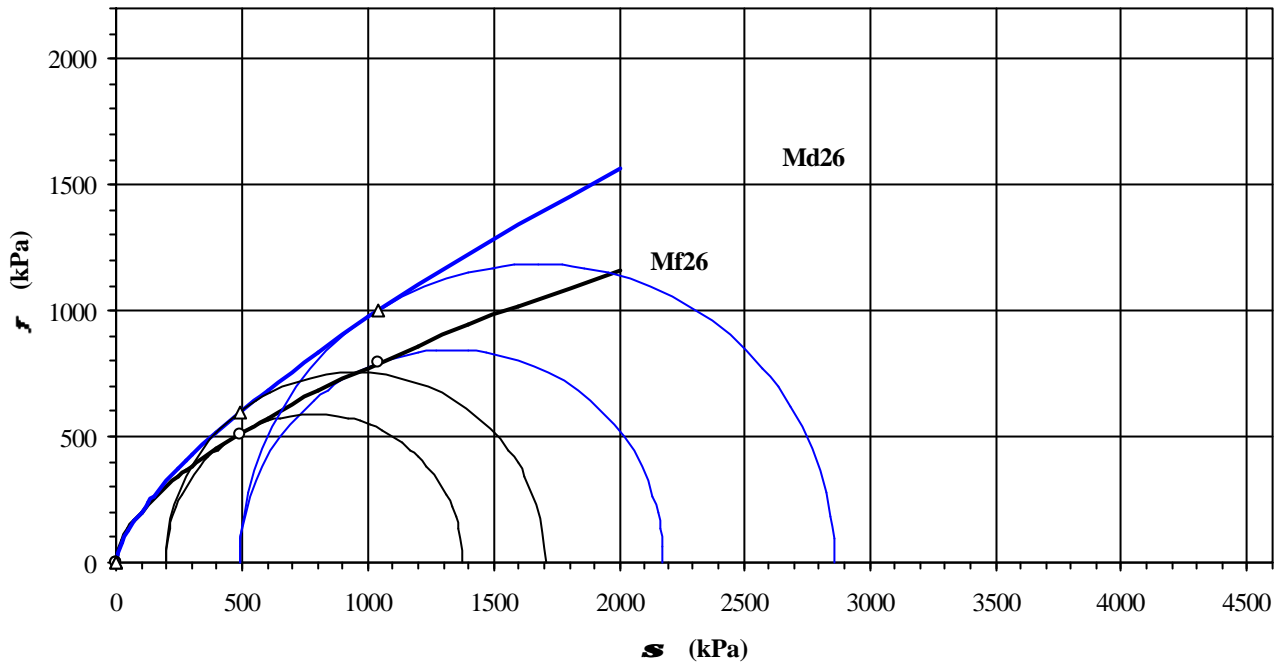


Figura iii.22 - Circulo de Mohr e envoltórias de resistência do enrocamento de basalto da Barragem de Marimondo, com granulometria 26, sob compressão triaxial.

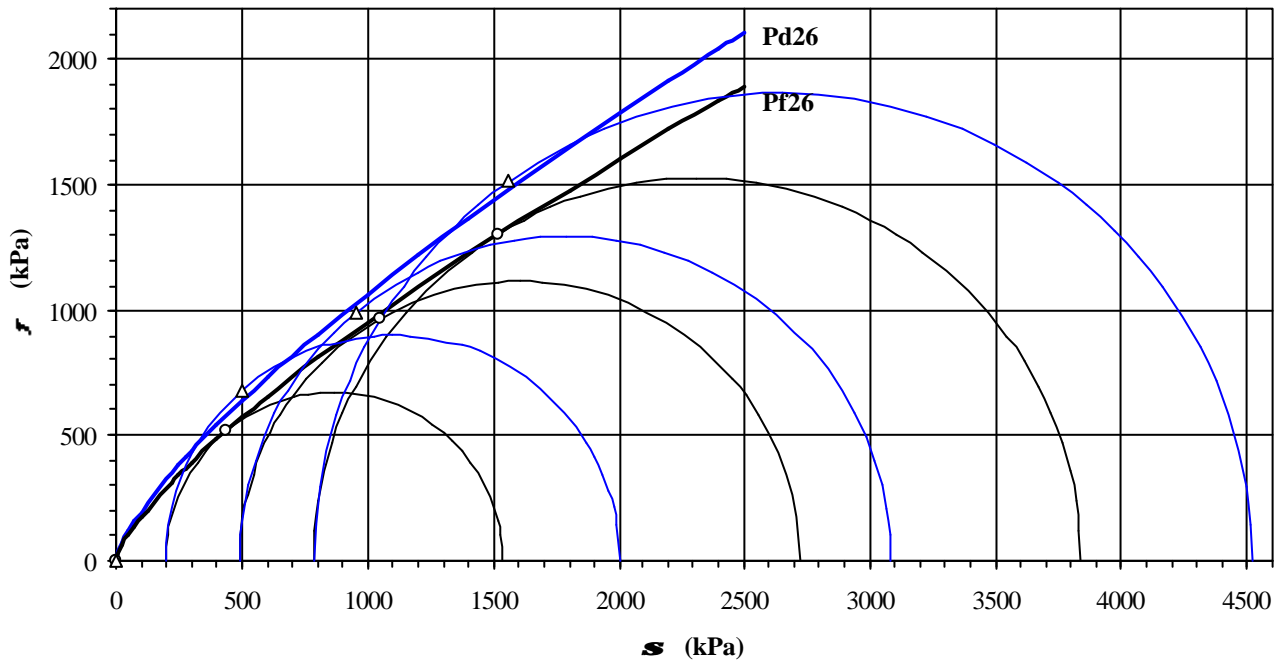


Figura iii.23 - Circulo de Mohr e envoltórias de resistência do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, com granulometria 26, sob compressão triaxial.

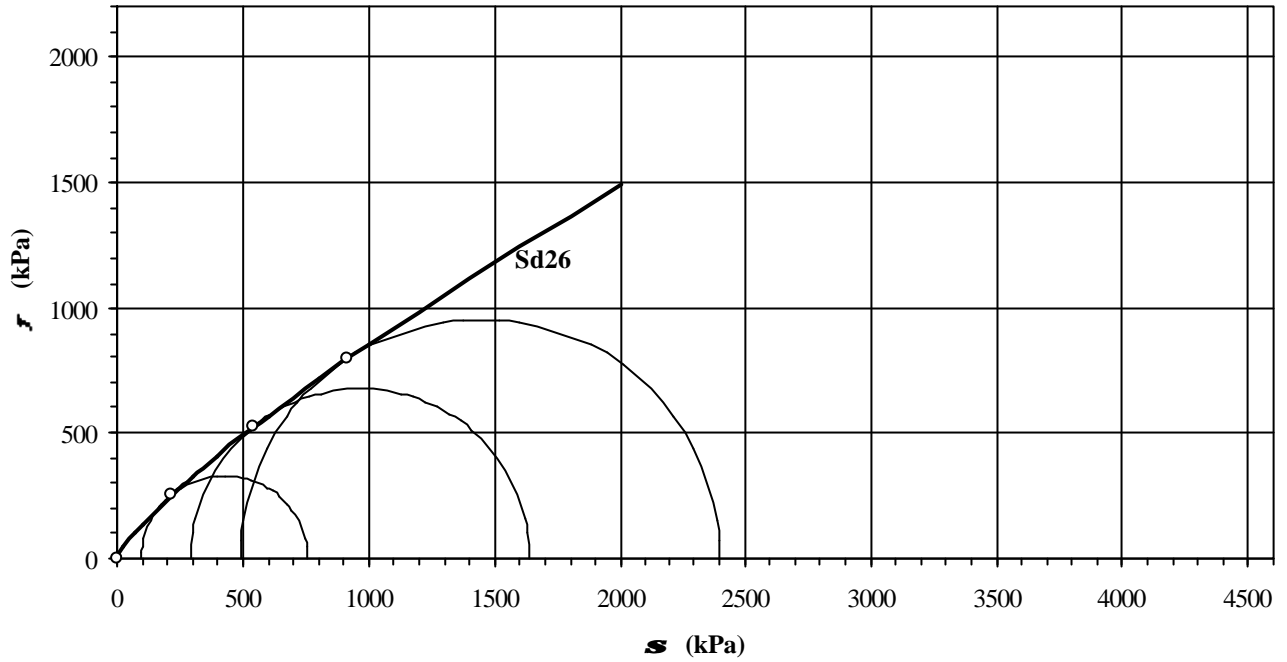


Figura iii.24 - Circulo de Mohr e envoltórias de resistência do enrocamento de Granito da Barragem de Serra da Mesa, com granulometria 26, sob compressão triaxial.

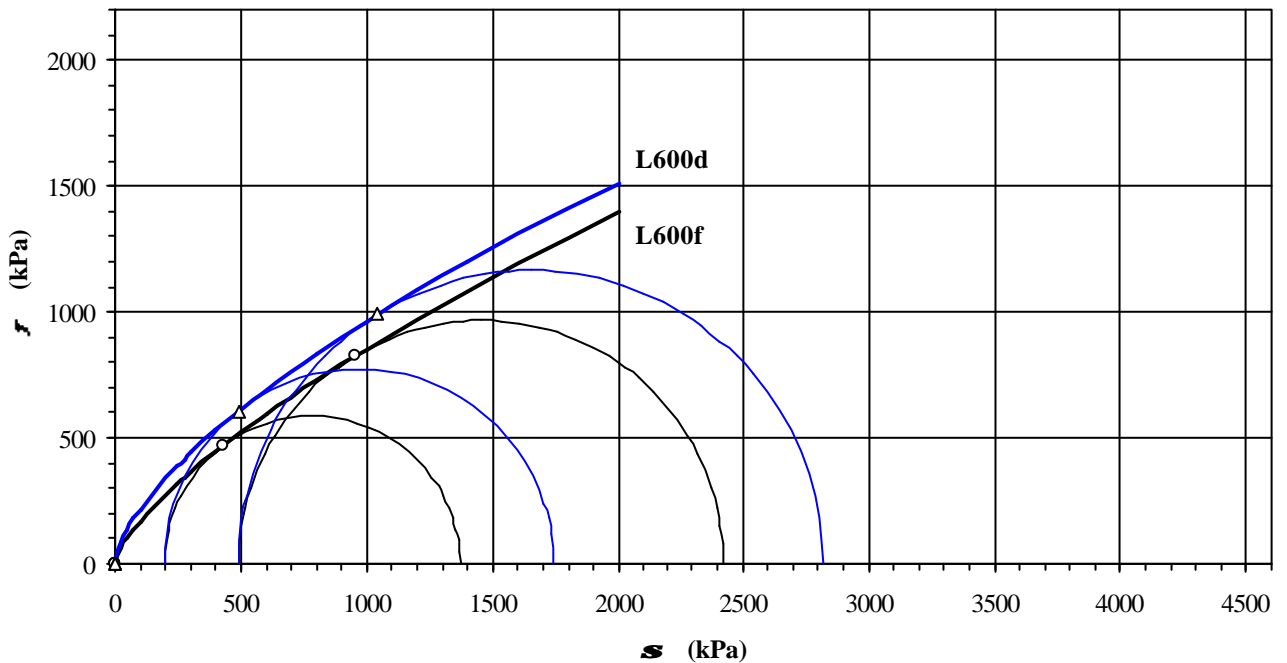


Figura iii.25 - Circulo de Mohr e envoltórias de resistência do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 600h, com granulometria 26, sob compressão triaxial.

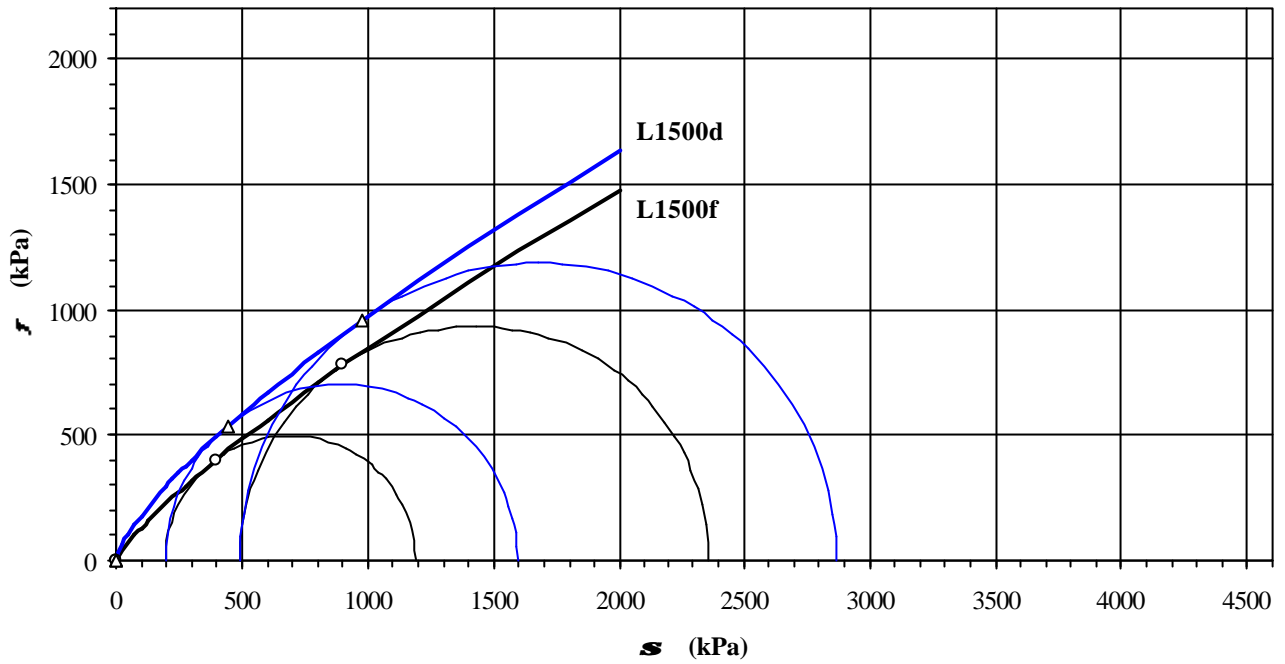


Figura iii.26 - Circulo de Mohr e envoltórias de resistência do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 1500h, com granulometria 26, sob compressão triaxial.

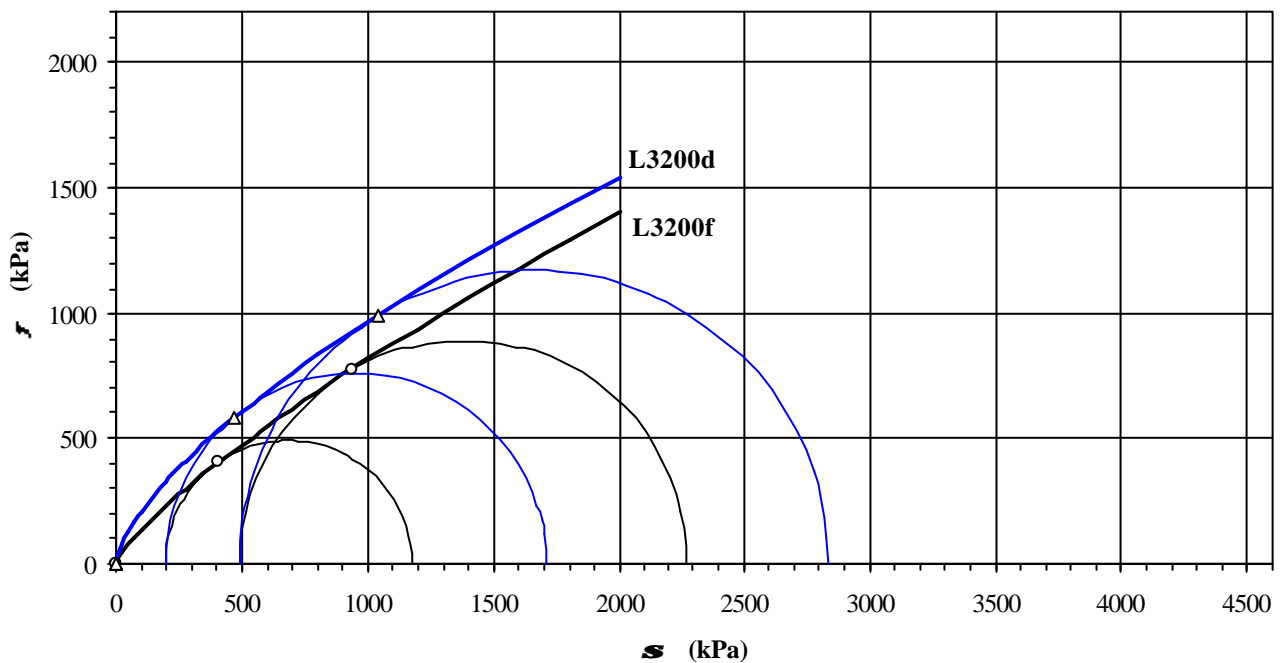


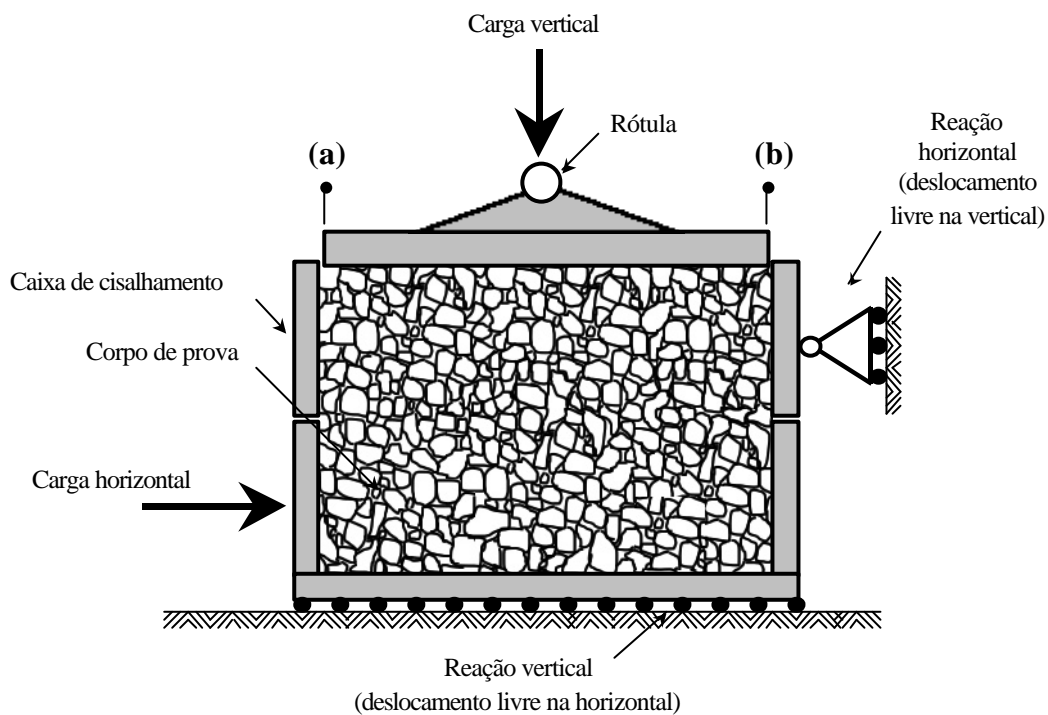
Figura iii.27 - Circulo de Mohr e envoltórias de resistência do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 3200h, com granulometria 26, sob compressão triaxial.

### III.3. Ensaio de cisalhamento direto nos enrocamentos

As Figuras iii.29 a iii.53 apresentam os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, em corpos de prova de enrocamento. Mostra-se as curvas: tensão cisalhante  $t$  vs. deslocamento da caixa de cisalhamento  $DL$ , deformação volumétrica  $e_v$  vs.  $DL$  e deformações verticais localizadas dos extremos (a) e (b) da placa de topo  $e_a$  vs.  $DL$  (Figura iii.28). Indica-se, em cada curva a tensão vertical efetiva inicial  $S'_v$  do ensaio.

A metodologia de execução dos ensaios e as características dos corpos de prova são apresentadas no item 5.6.4.

A identificação dos ensaios segue a nomenclatura indicada no item 5.2. A identificação da granulometria utilizada em cada ensaio é feita pelo valor do diâmetro  $d_{50}$  em



milímetros.

Figura iii.28 - Corte esquemático das caixas de cisalhamento.

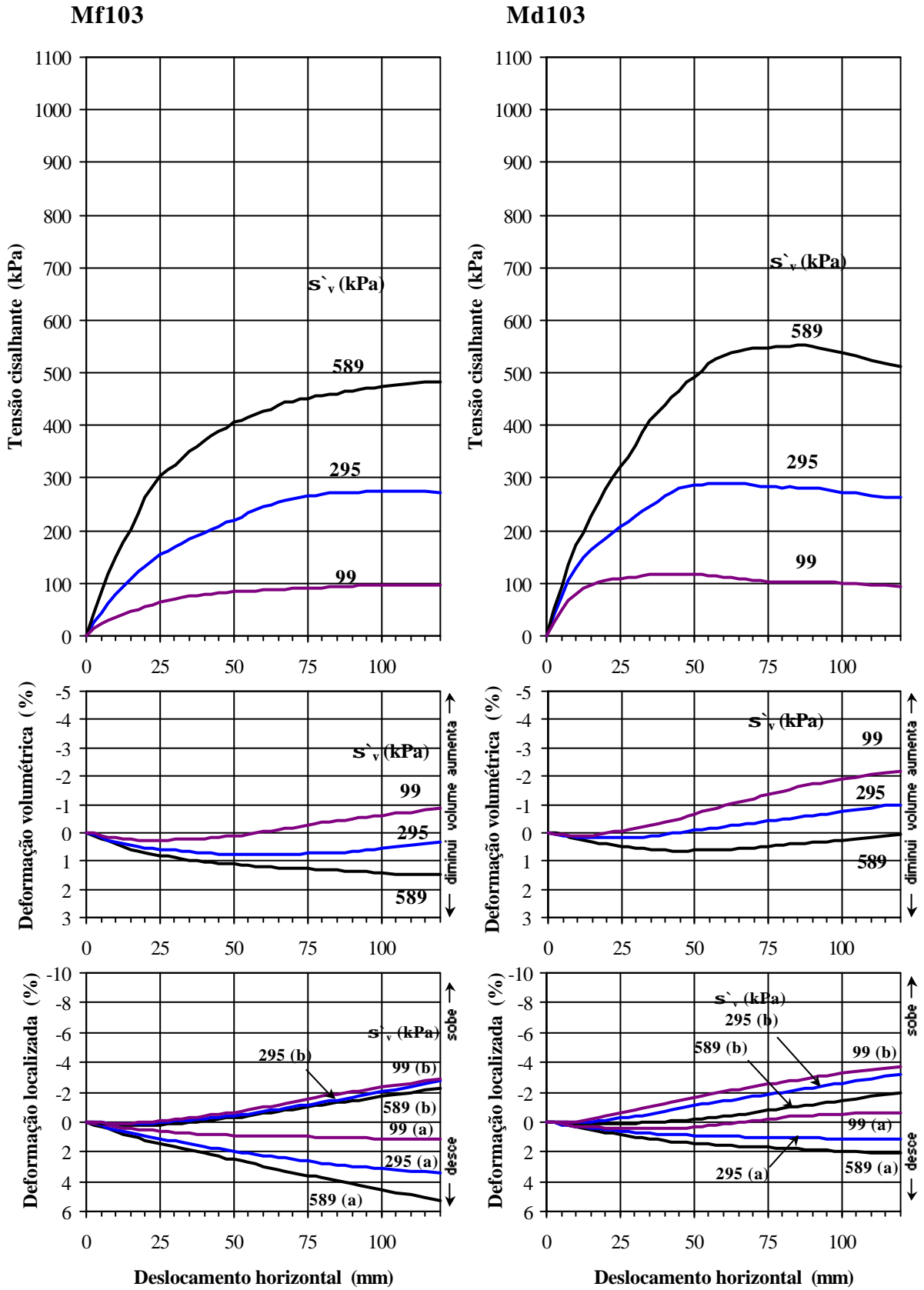


Figura iii.29 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Barragem de Marimondo,  $d_{50} = 103\text{mm}$ .



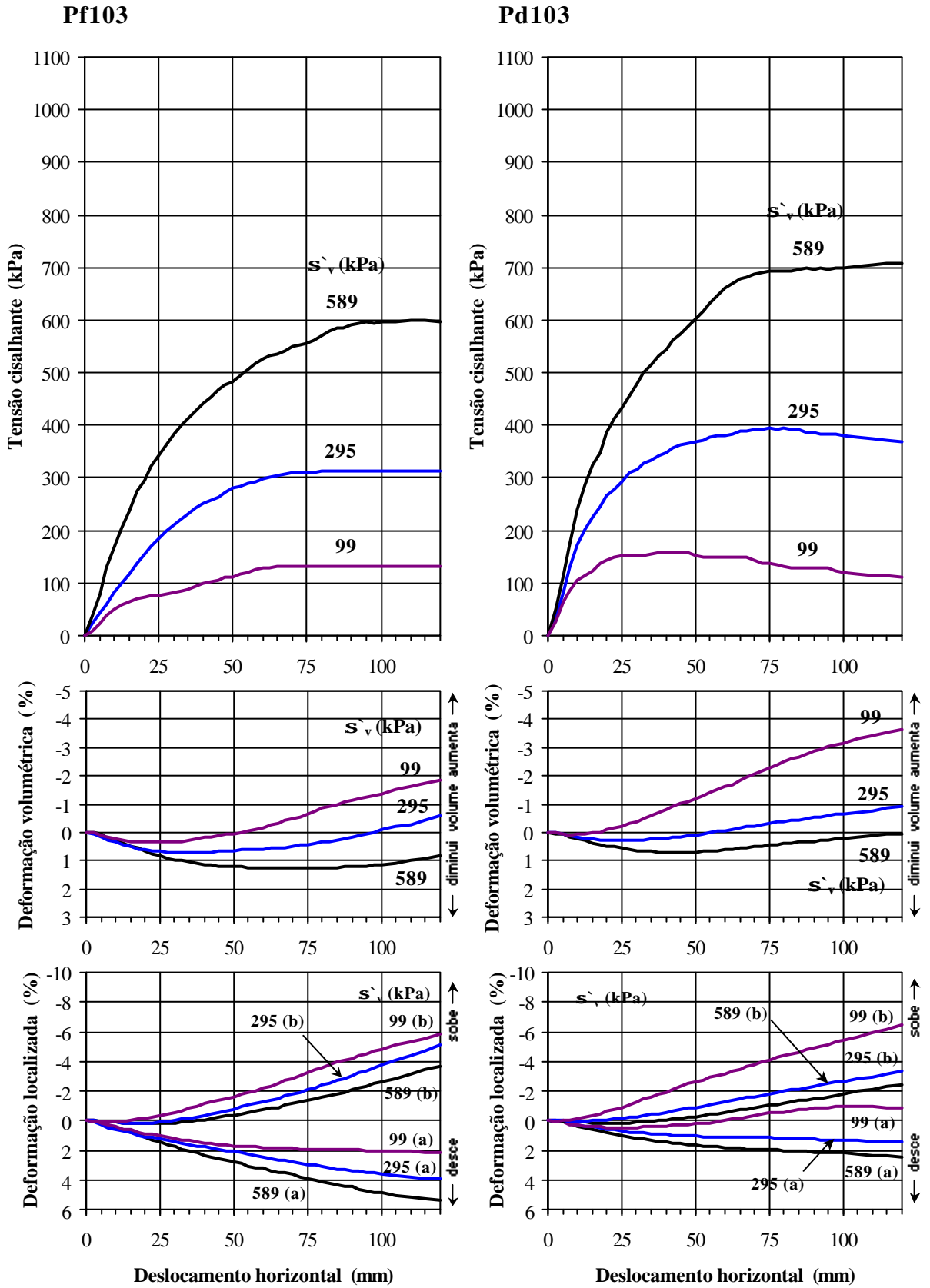


Figura iii.30 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 103\text{mm}$ .

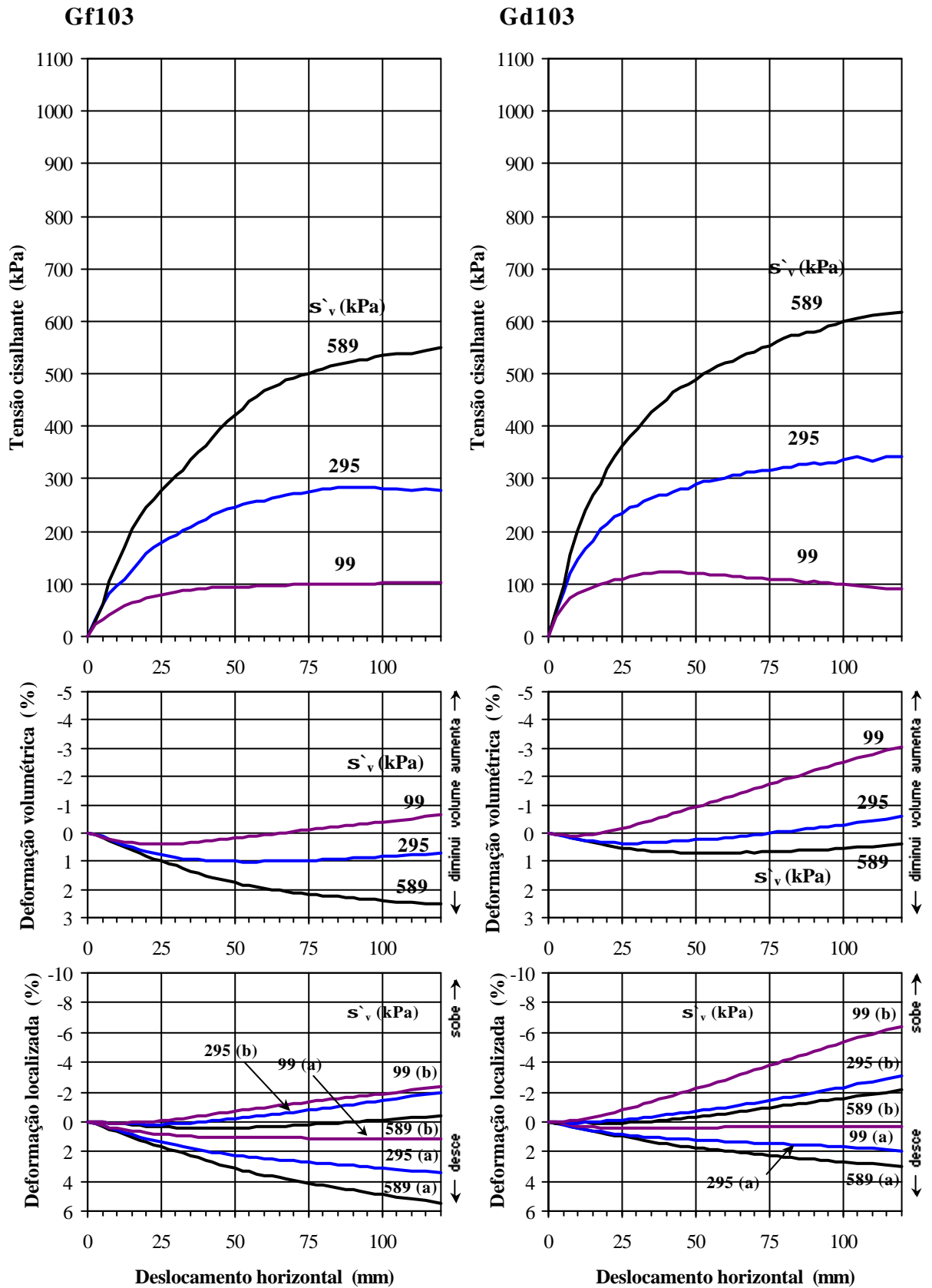


Figura iii.31 - Cisalhamento direto em enrocamento de Granito de Serra da Mesa,  $d_{50} = 103\text{mm}$ .

## Gd136

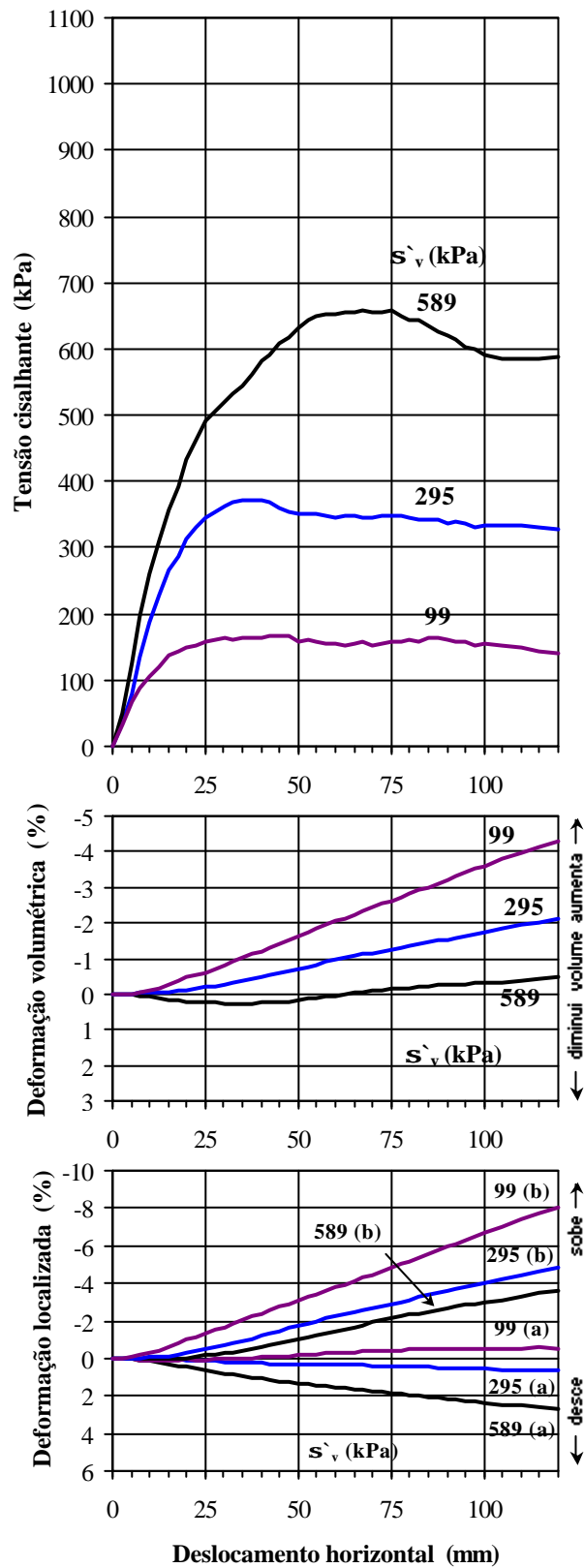


Figura iii.32 - Cisalhamento direto em enrocamento de Granito de Serra da Mesa,  $d_{50} = 136\text{mm}$ .

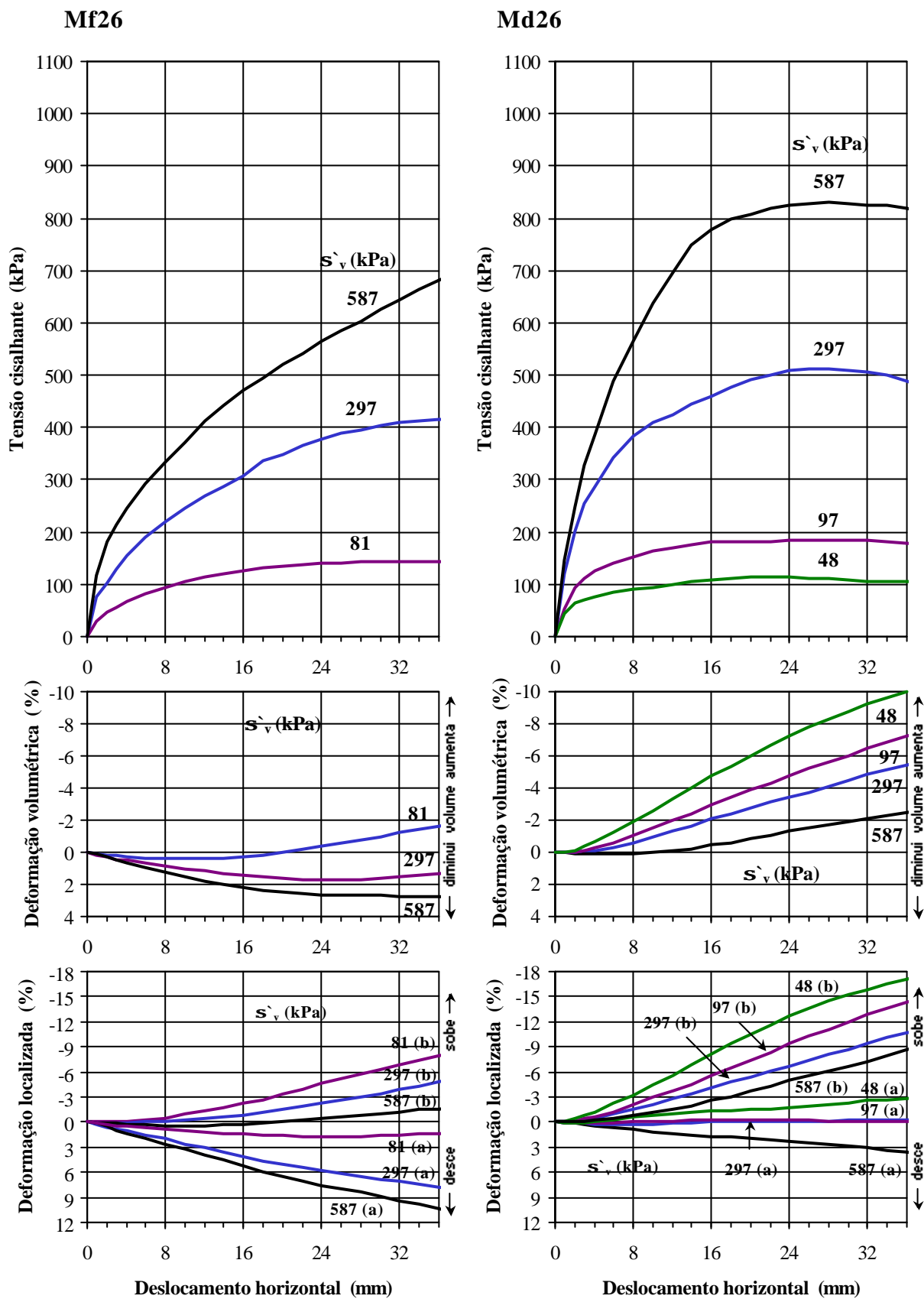


Figura iii.33 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Barragem de Marimbondo,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

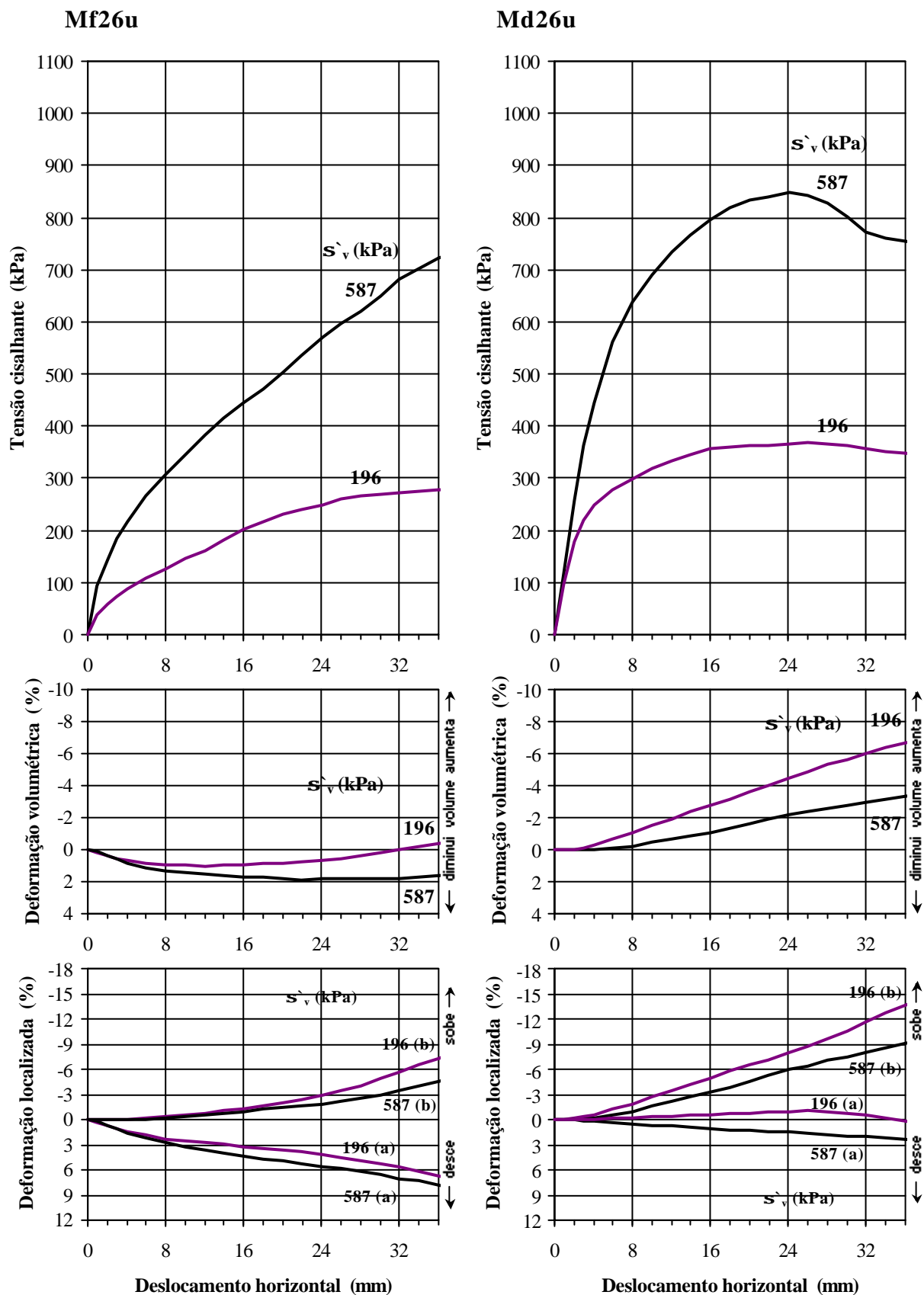


Figura iii.34 - Cisalhamento direto em enrocamento submerso de basalto da Barragem de Marimbondo,  $d_{50} = 26$ mm.

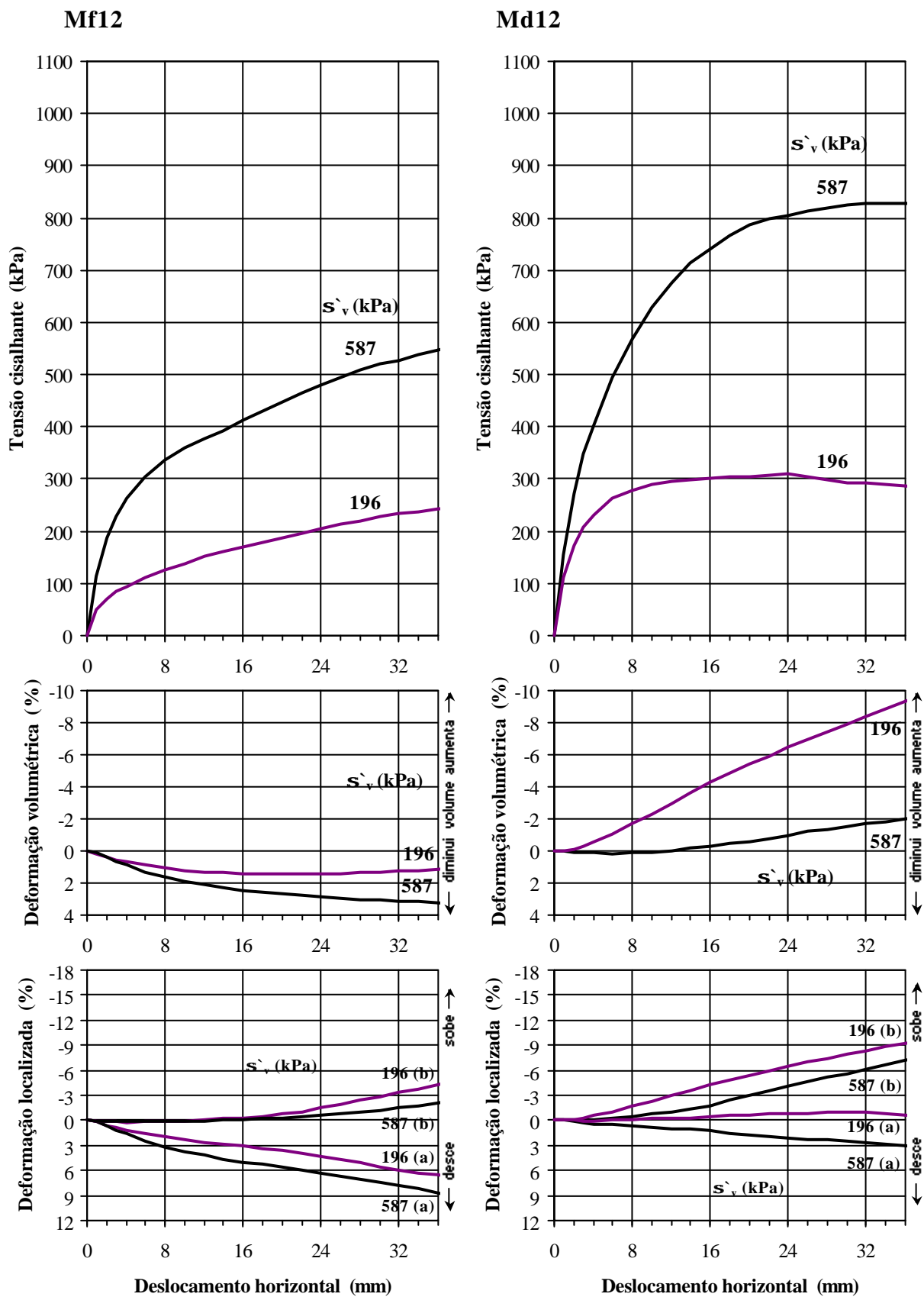


Figura iii.35 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Barragem de Marimondo,  $d_{50} = 12\text{mm}$ .

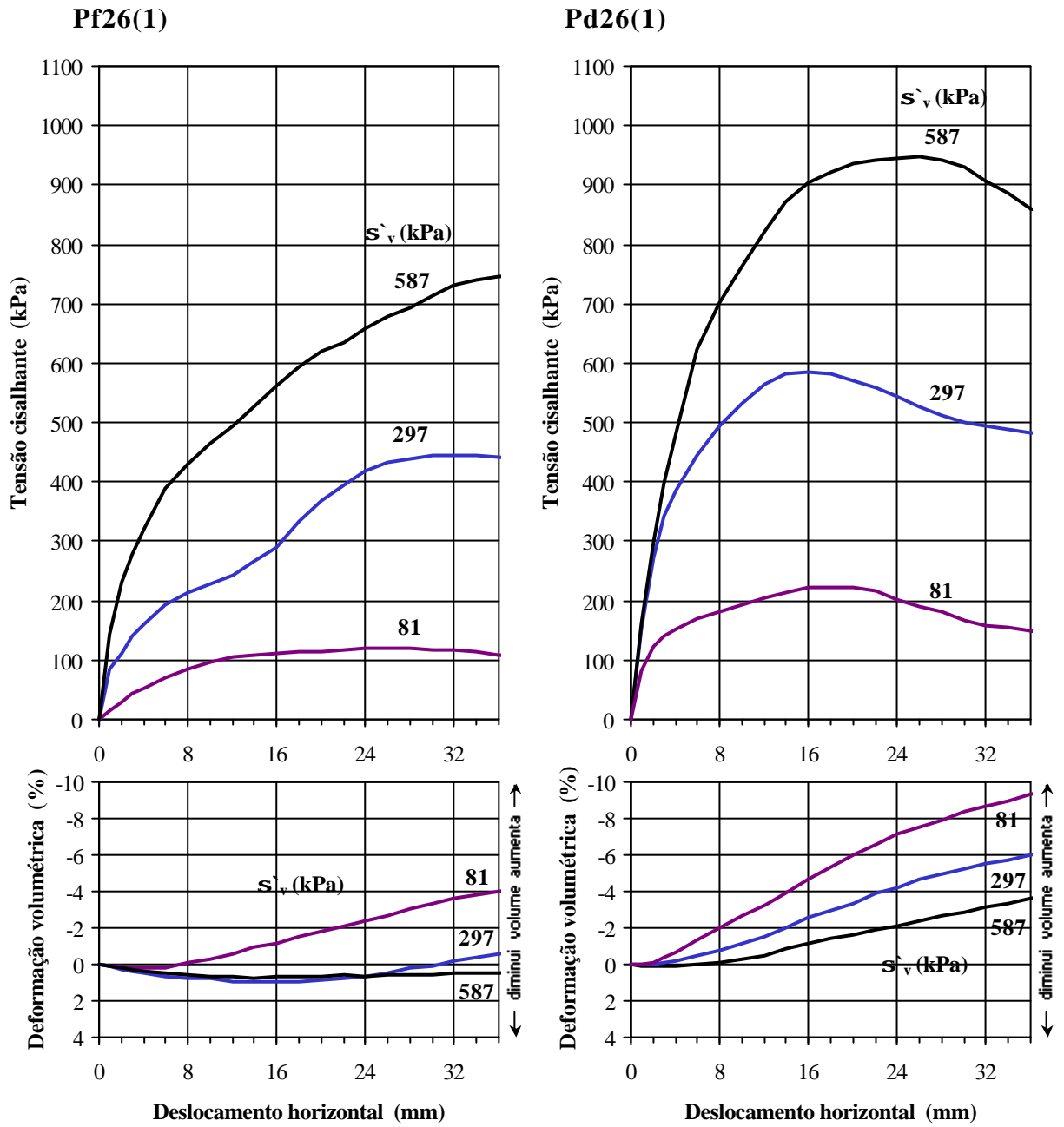


Figura iii.36 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 26\text{mm}$  (primeira série de ensaios).

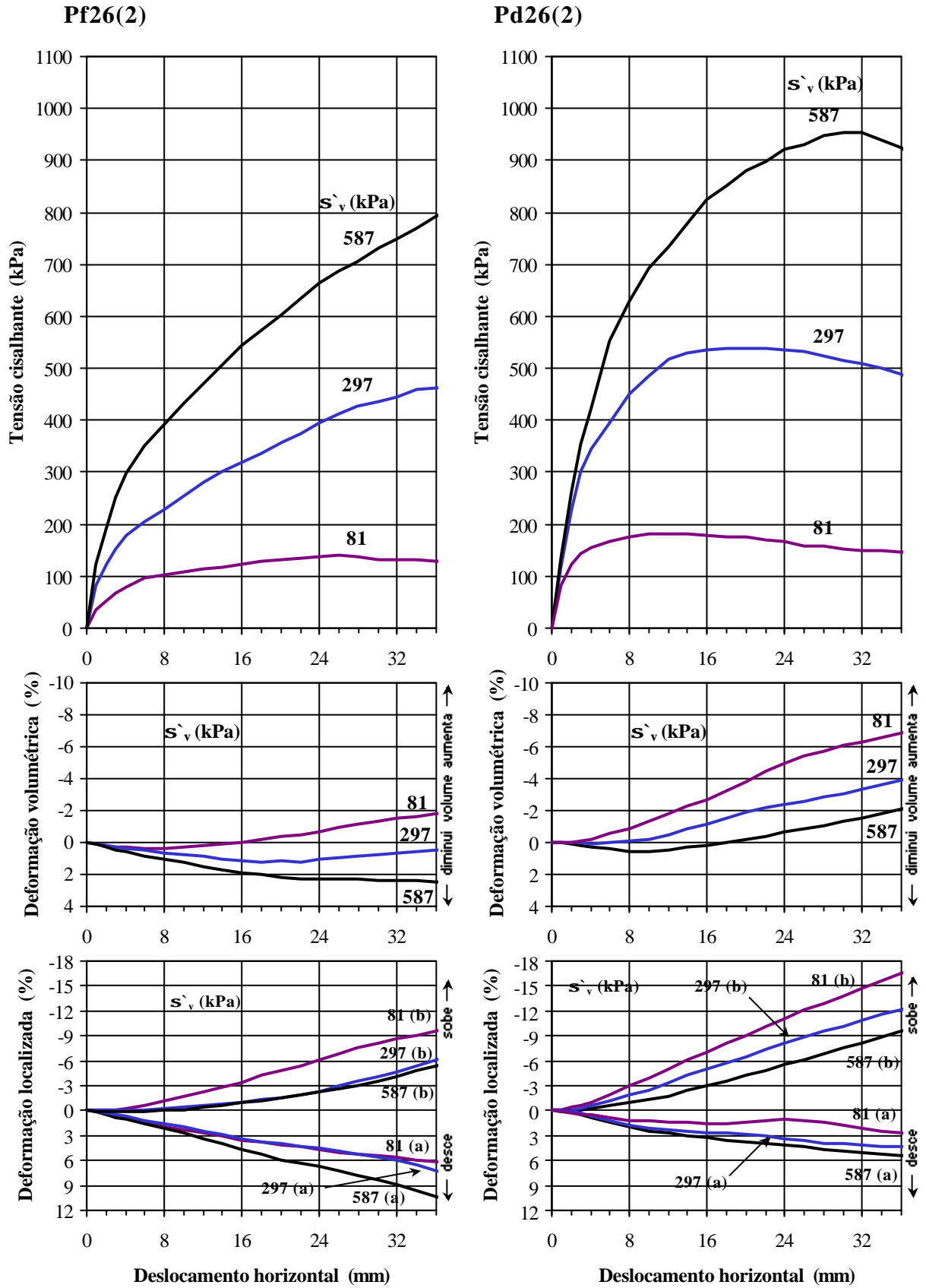


Figura iii.37 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 26\text{mm}$  (segunda série de ensaios).



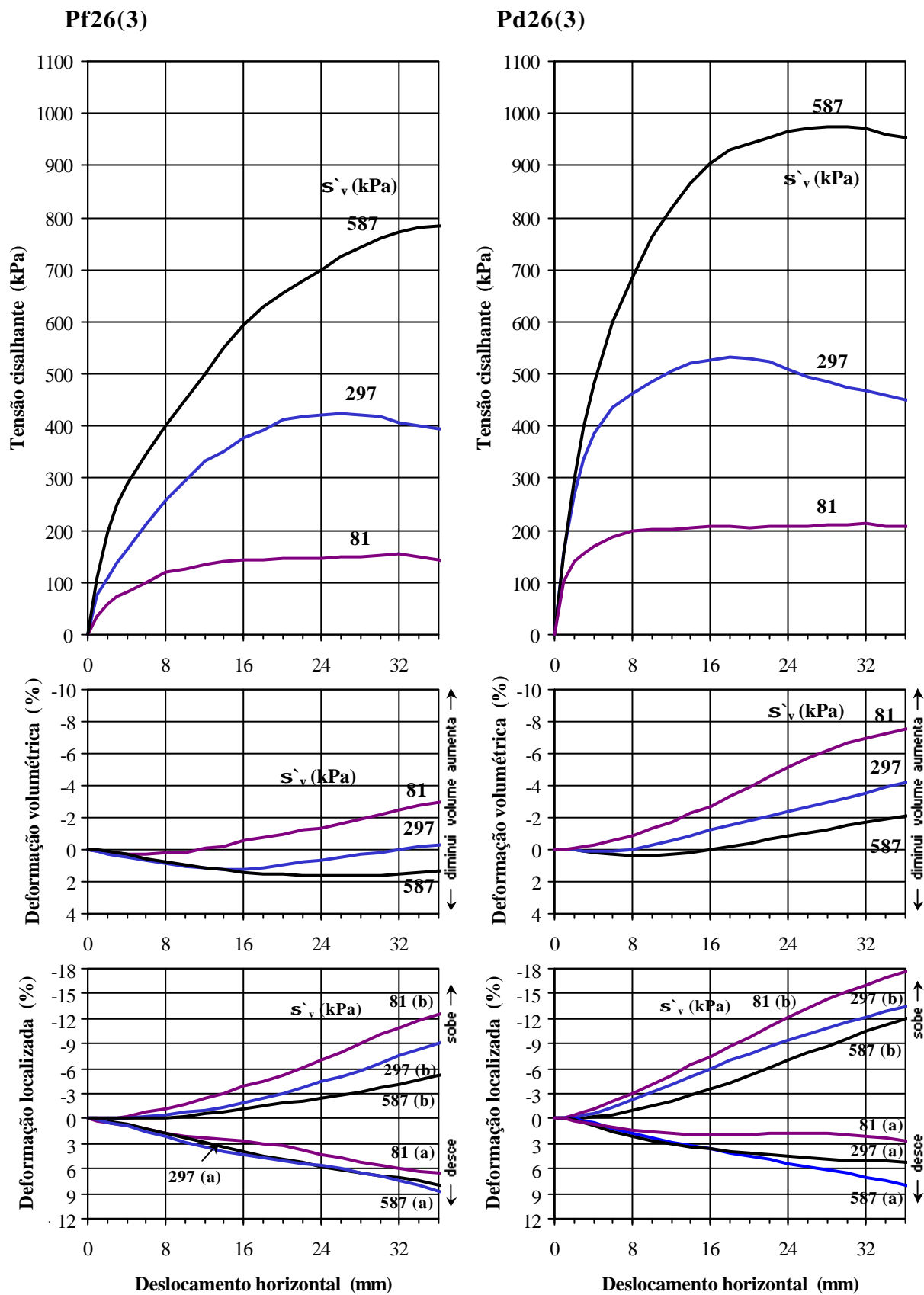


Figura iii.38 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 26\text{mm}$  (terceira série de ensaios).

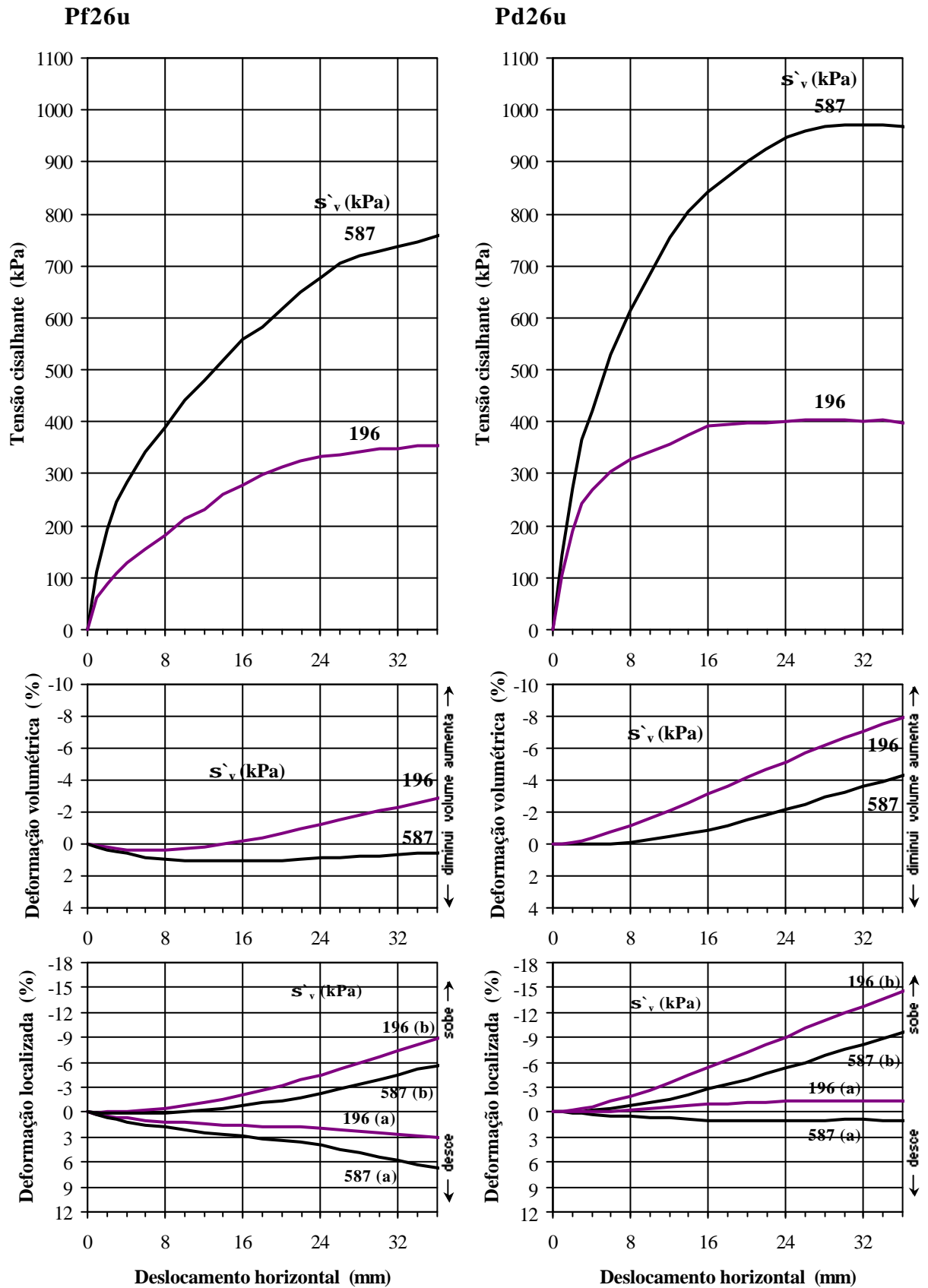


Figura iii.39 - Cisalhamento direto em enrocamento submerso de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

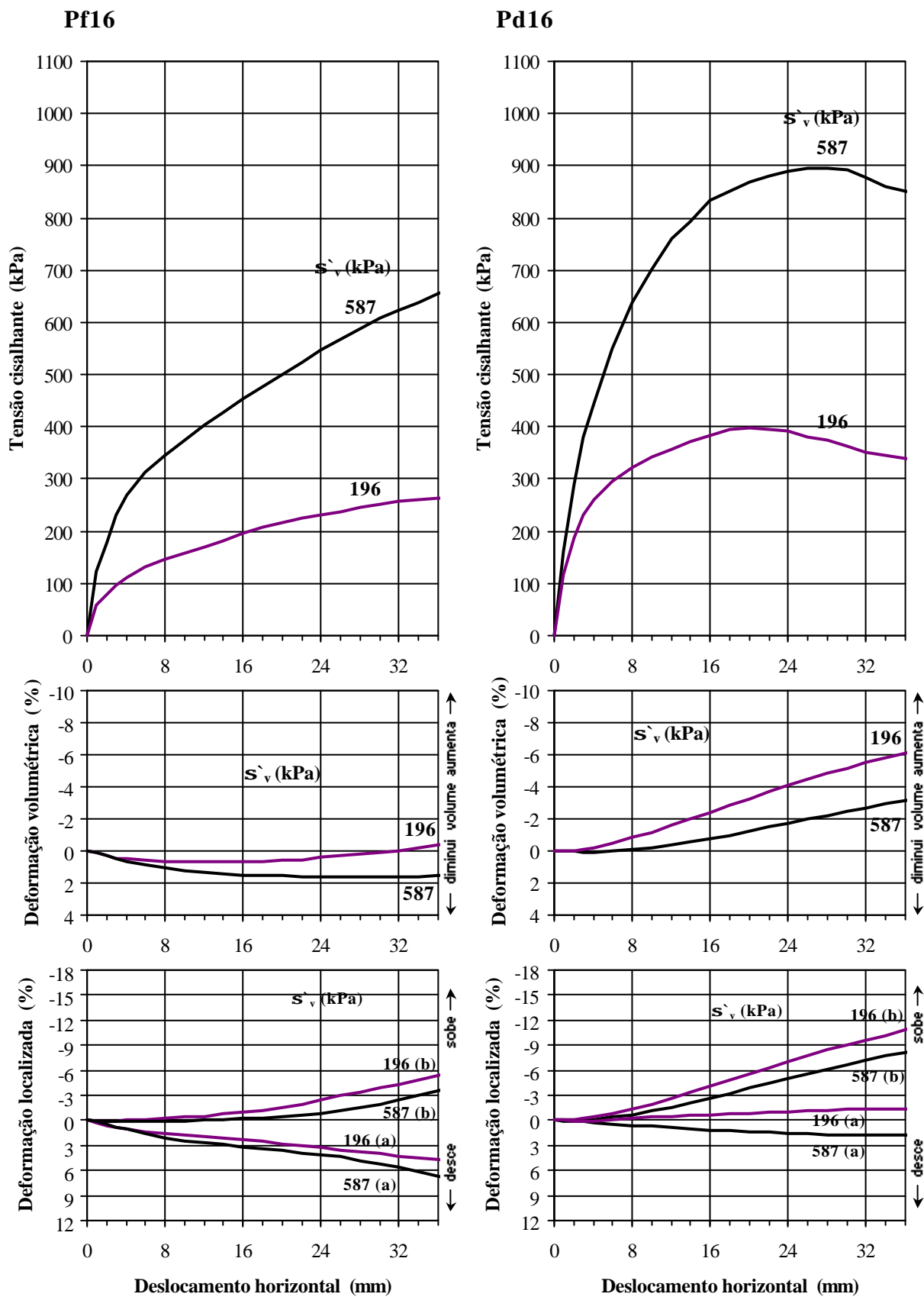


Figura iii.40 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 16\text{mm}$ .

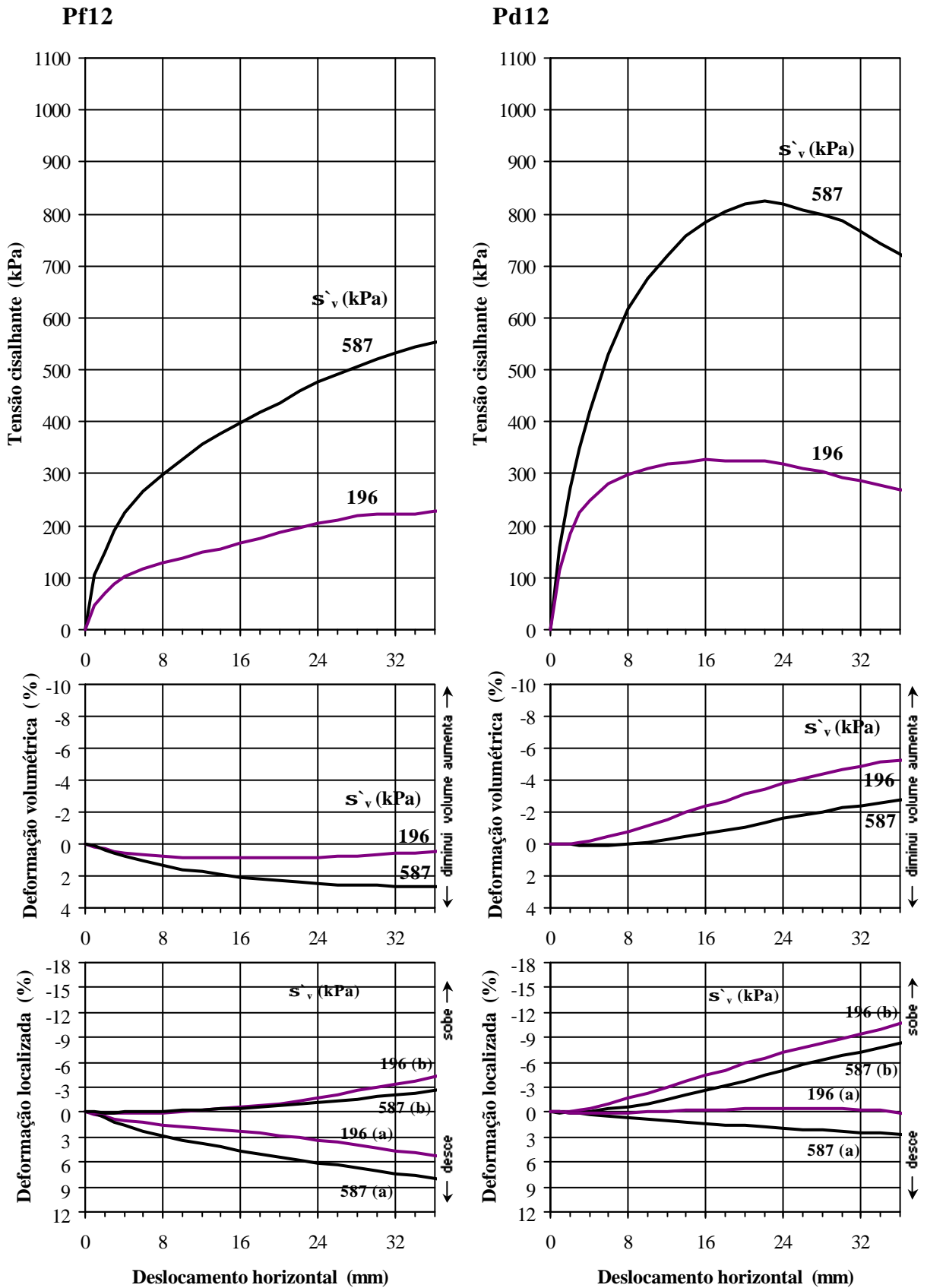


Figura iii.41 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 12\text{mm}$ .

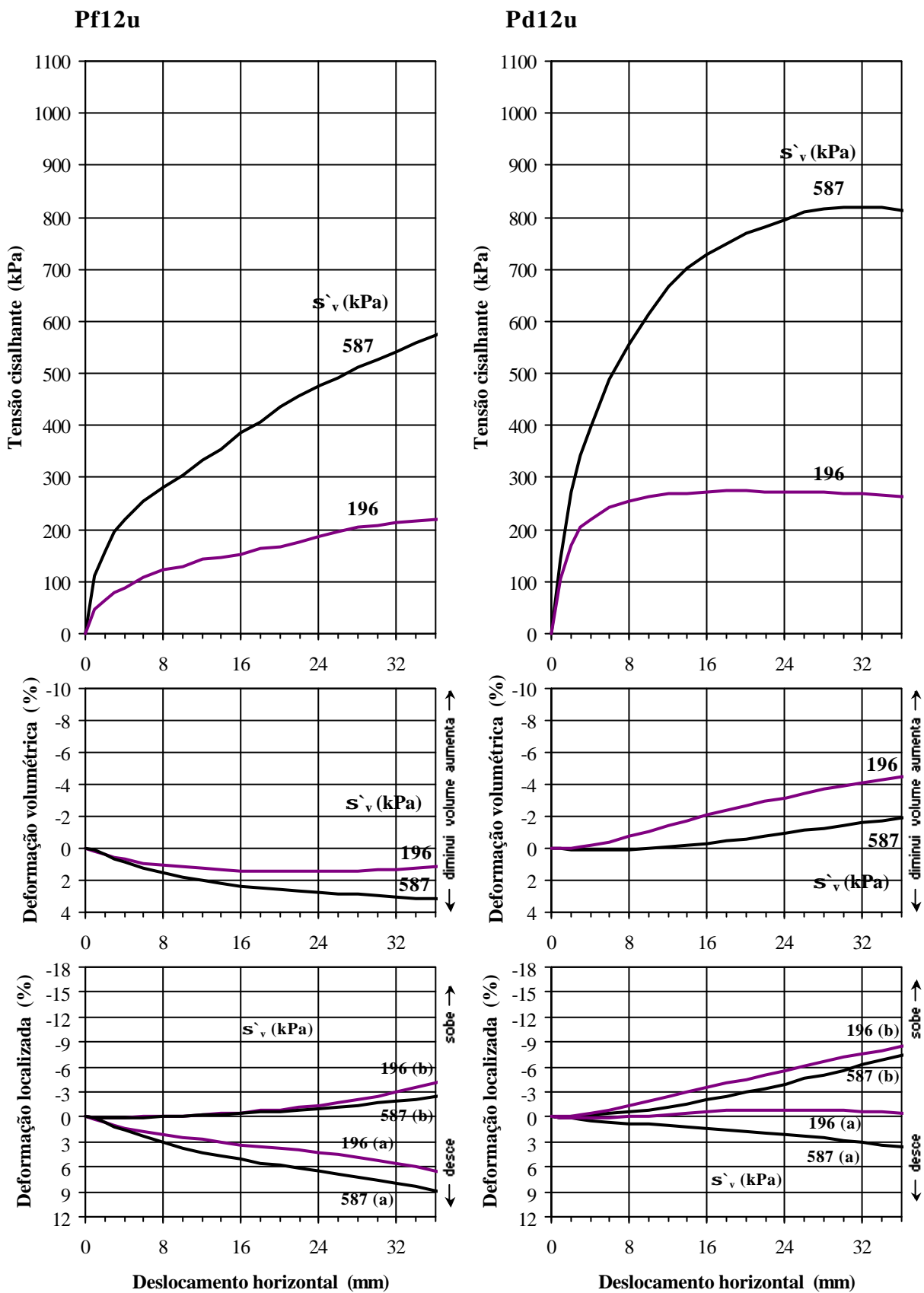


Figura iii.42 - Cisalhamento direto em enrocamento submerso de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 12\text{mm}$ .

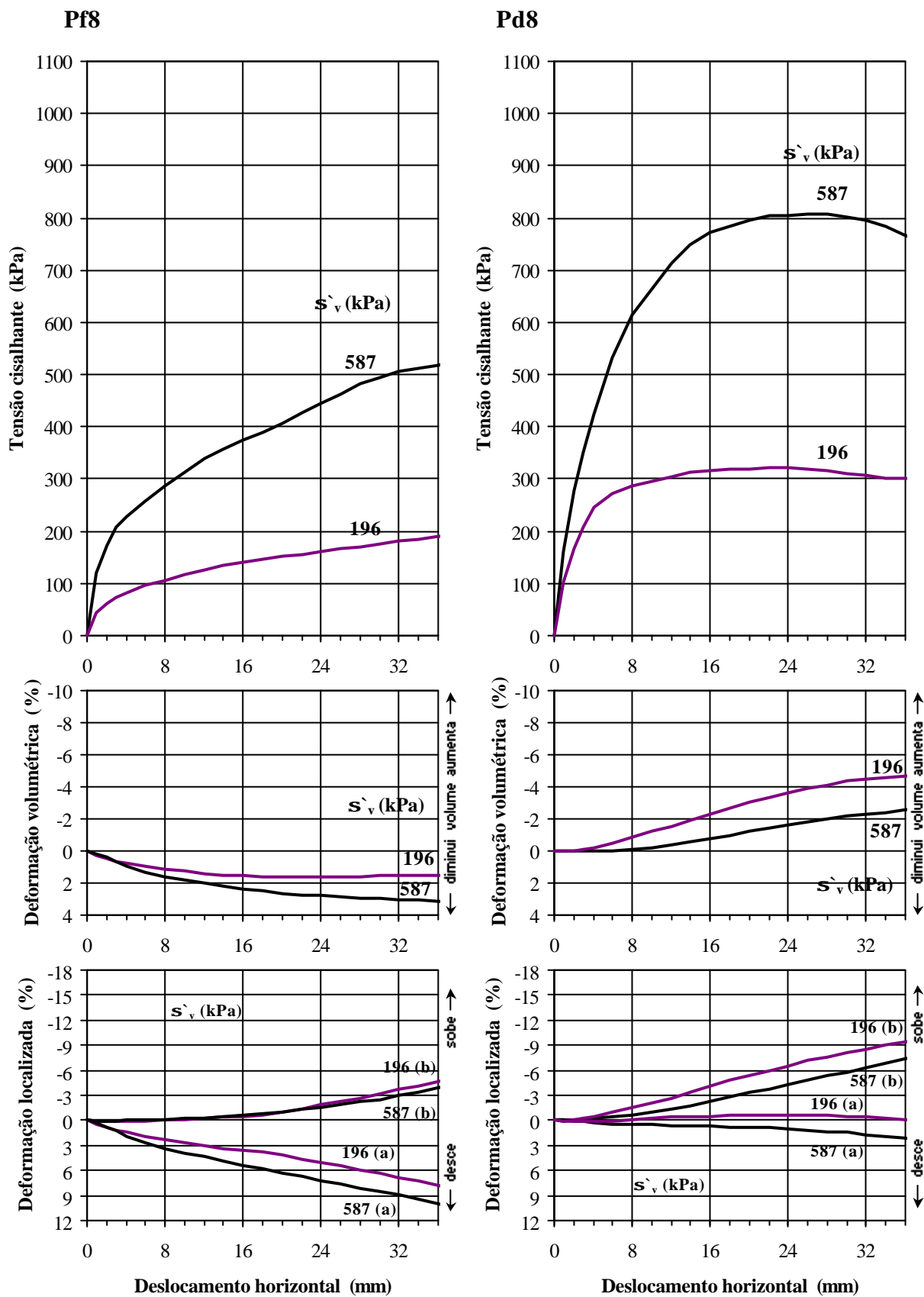


Figura iii.43 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 8\text{mm}$ .

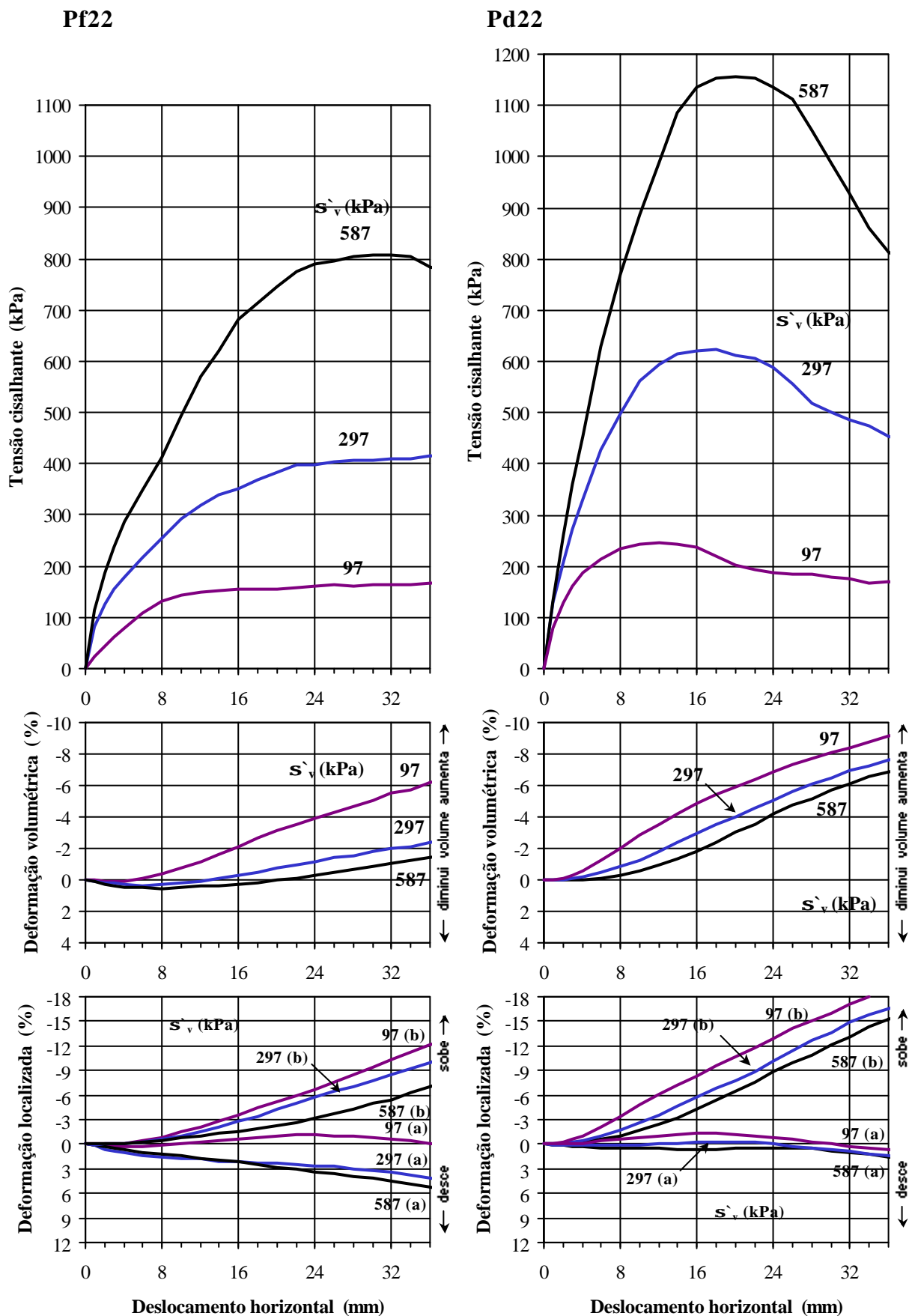


Figura iii.44 - Cisalhamento direto em enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande,  $d_{50} = 22\text{mm}$ .

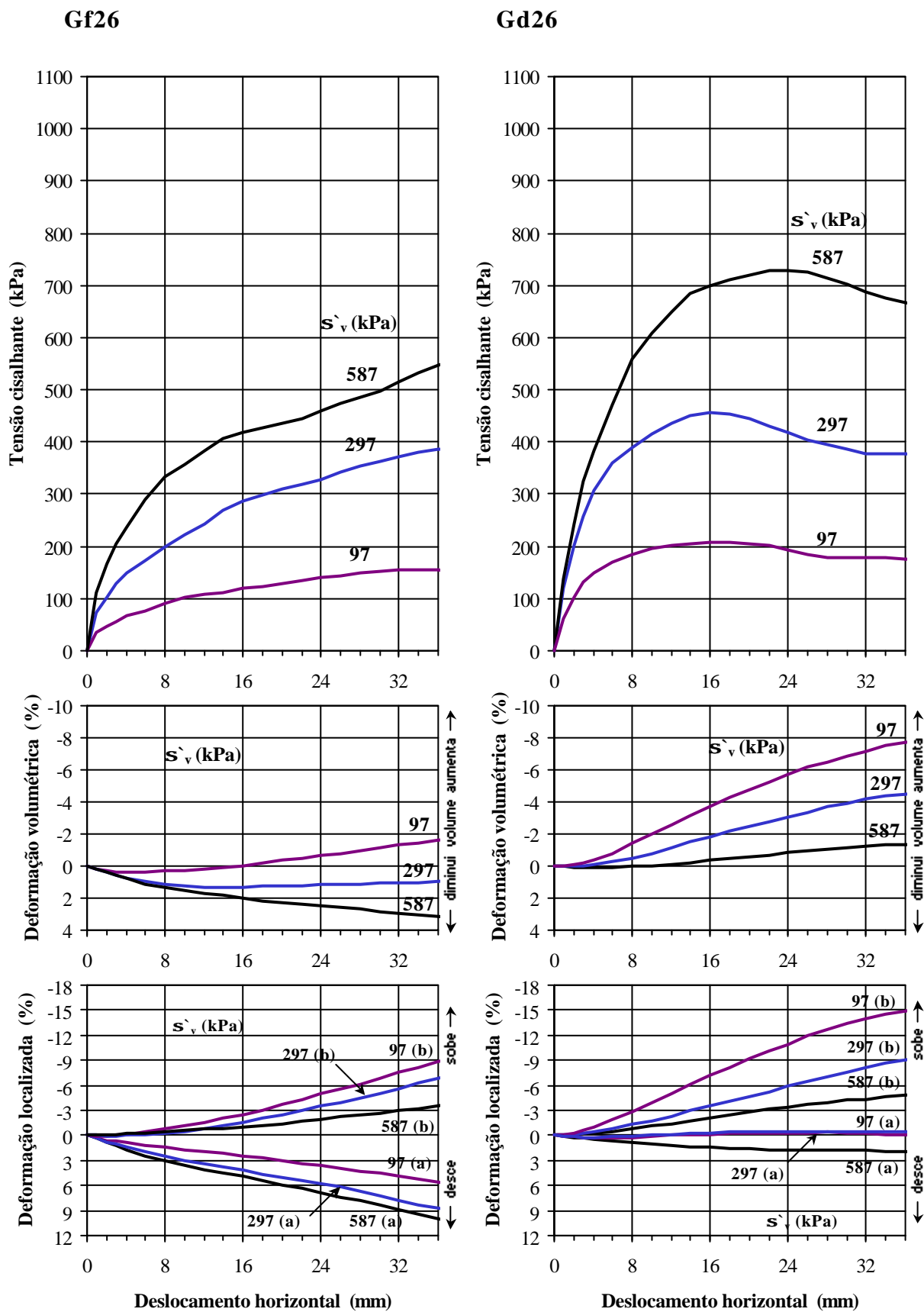


Figura iii.45 - Cisalhamento direto em enrocamento de granito da Barragem de Serra da Mesa,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .



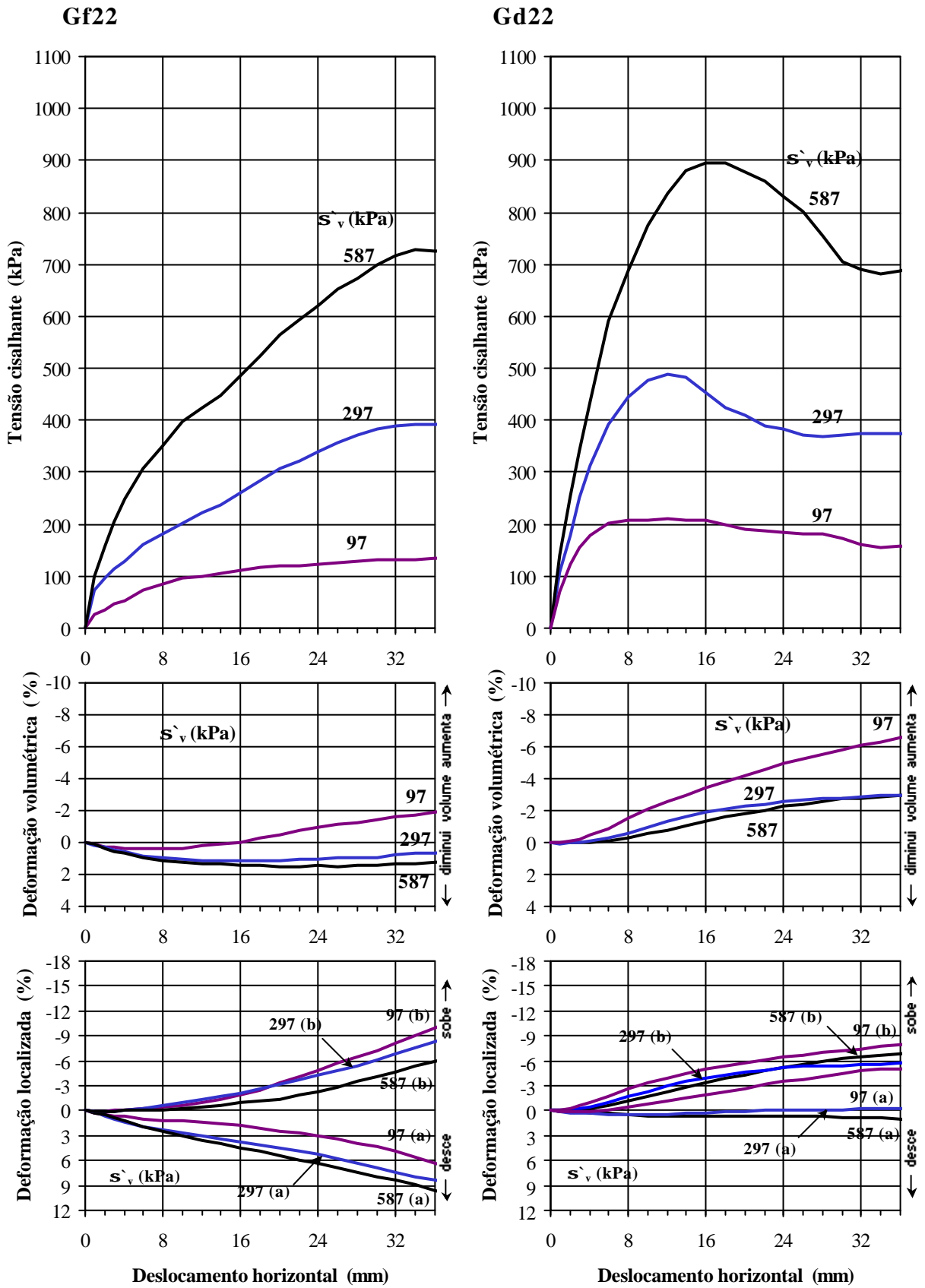


Figura iii.46 - Cisalhamento direto em enrocamento de granito da Barragem de Serra da Mesa,  $d_{50} = 22\text{mm}$ .

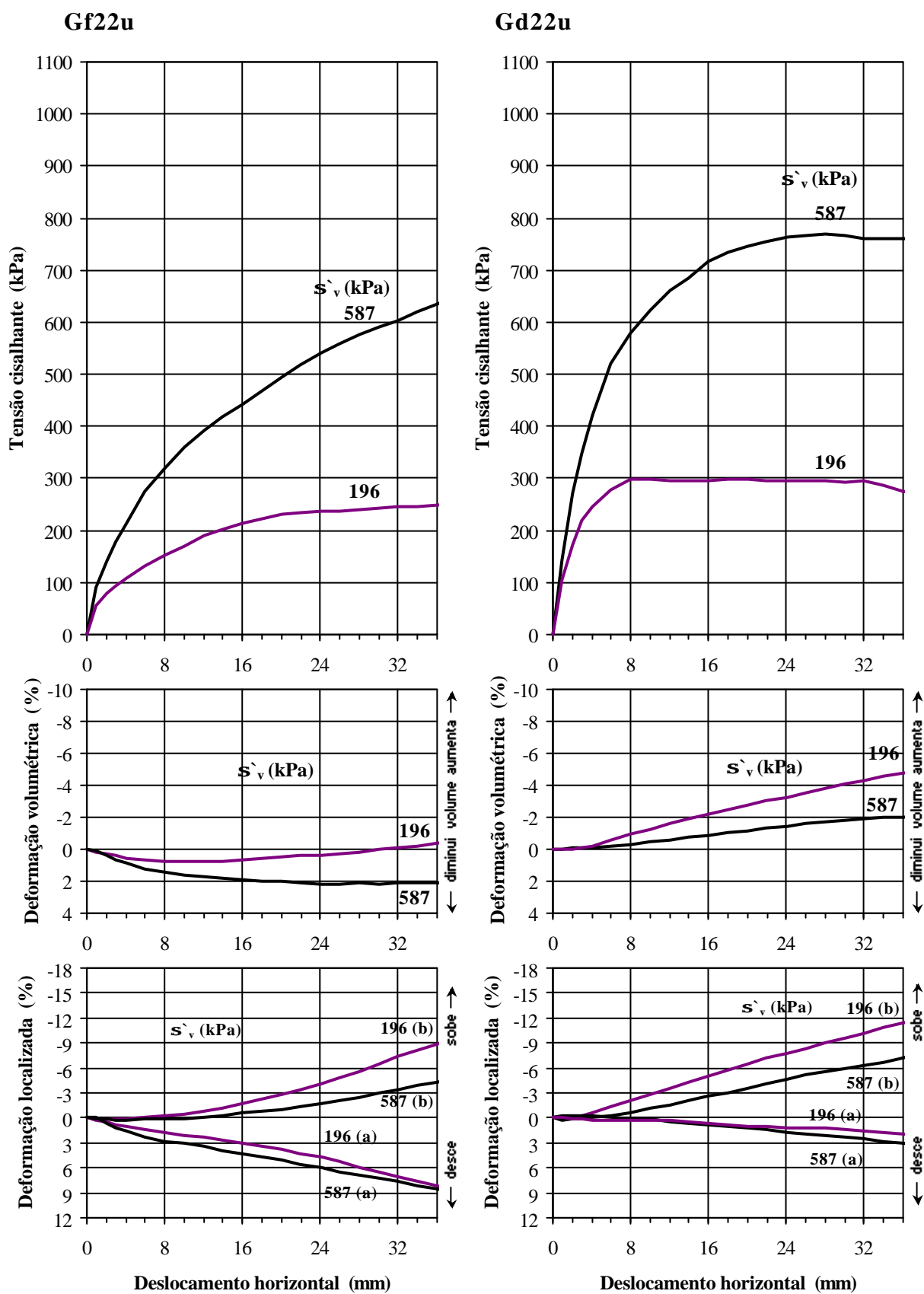


Figura iii.47 - Cisalhamento direto em enrocamento submerso de granito da Barragem de Serra da Mesa,  $d_{50} = 22\text{mm}$ .

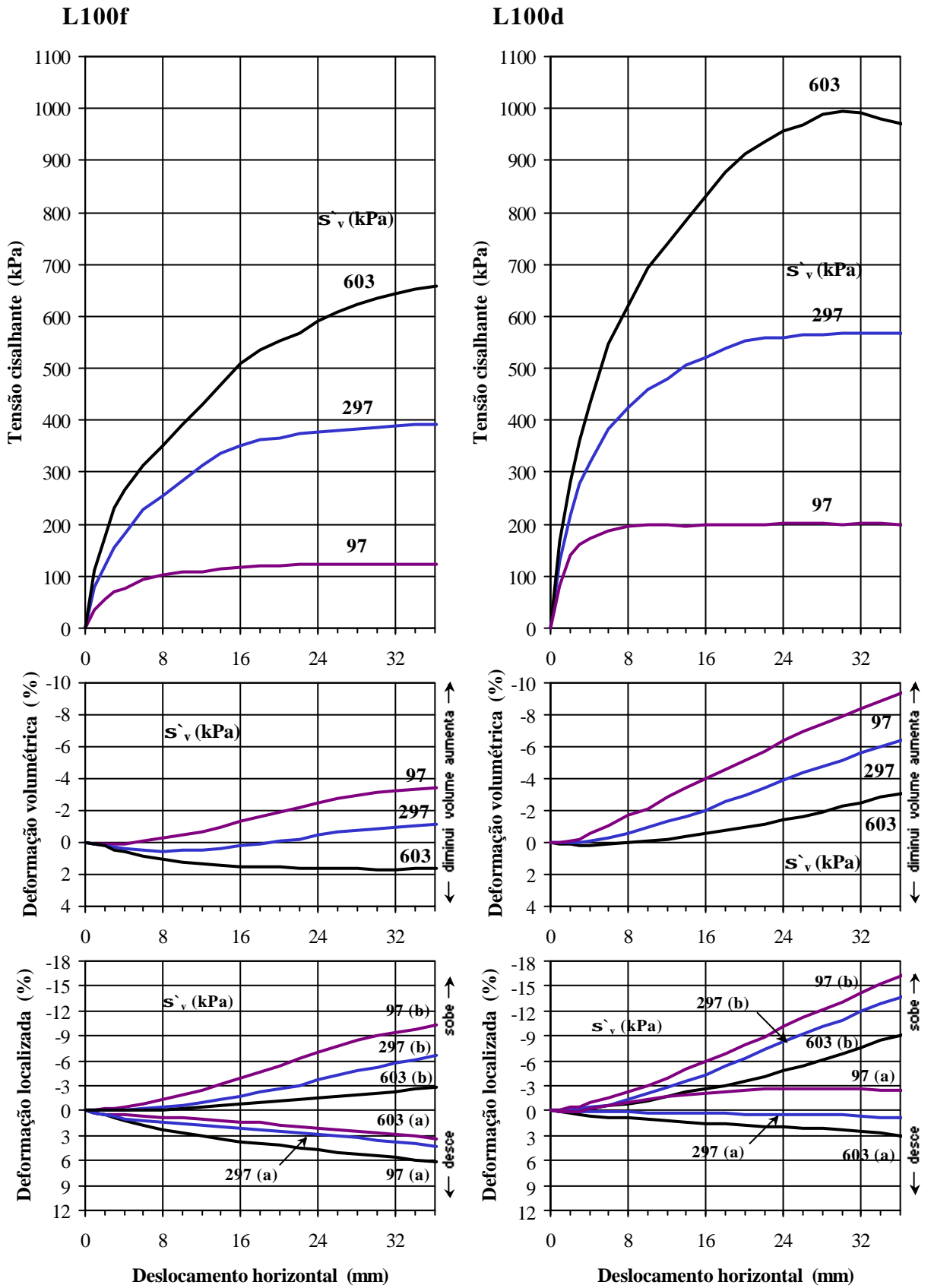


Figura iii.48 - Cisalhamento direto do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 100h,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

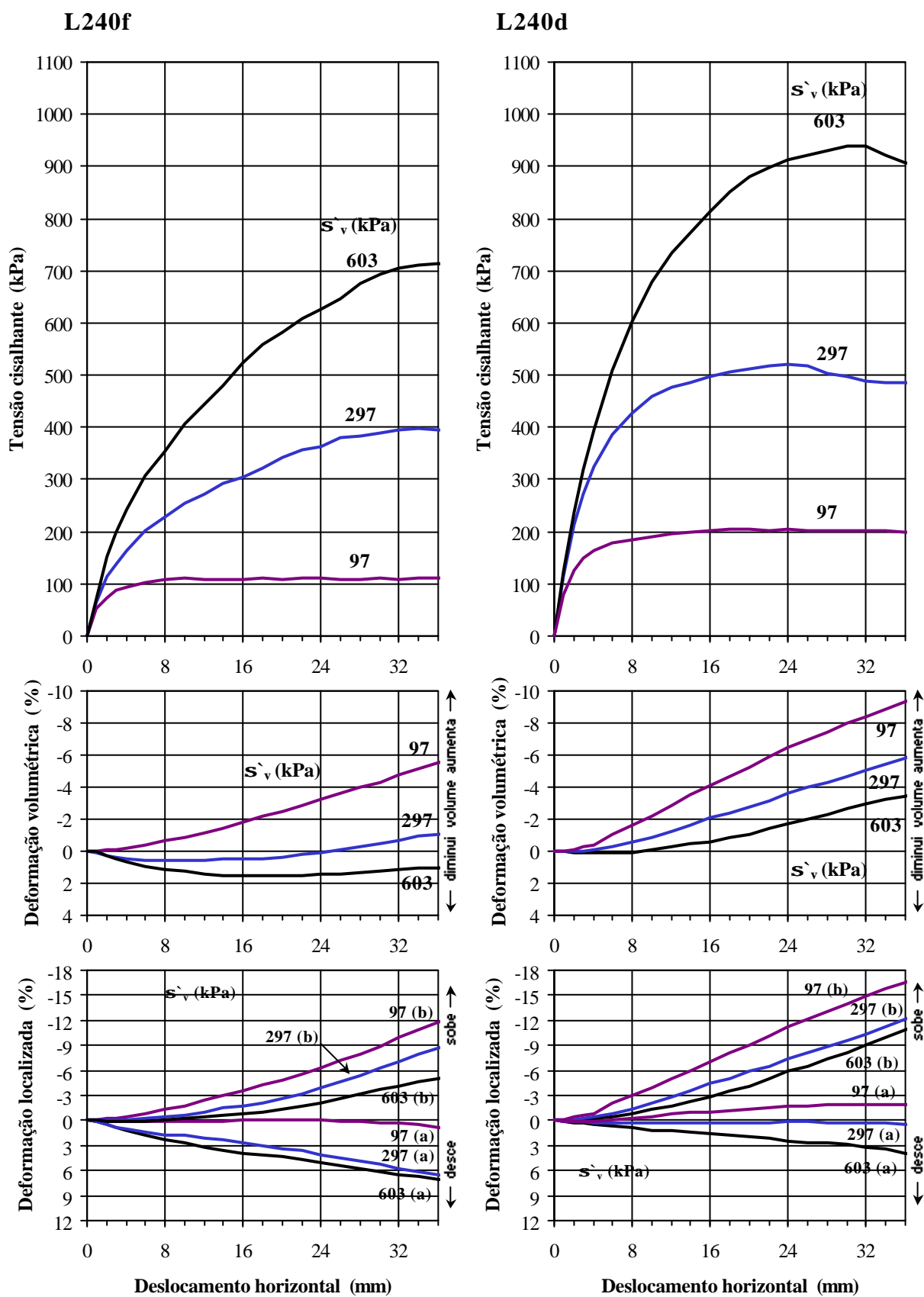


Figura iii.49 - Cisalhamento direto do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 240h,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

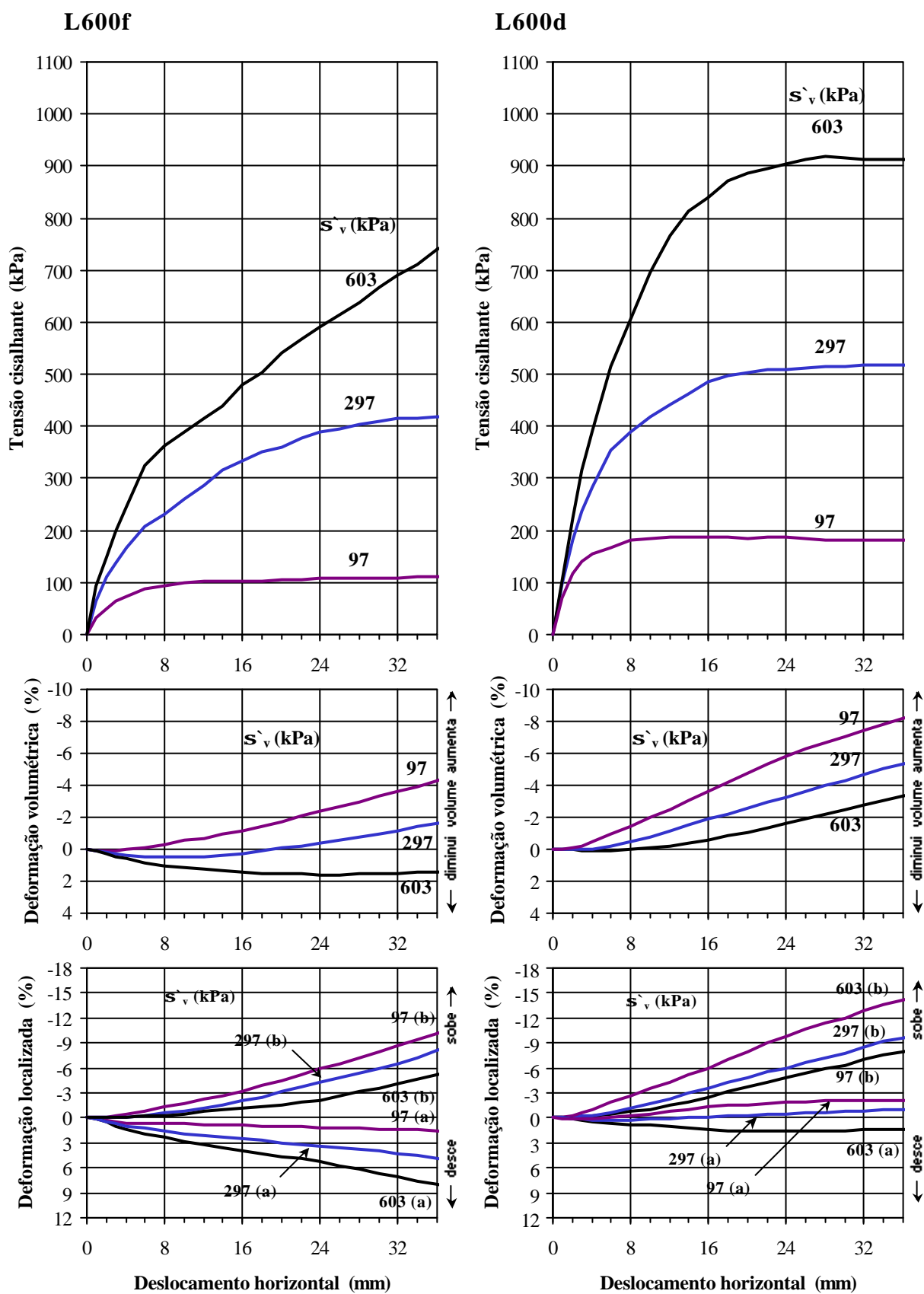


Figura iii.50 - Cisalhamento direto do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 600h,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

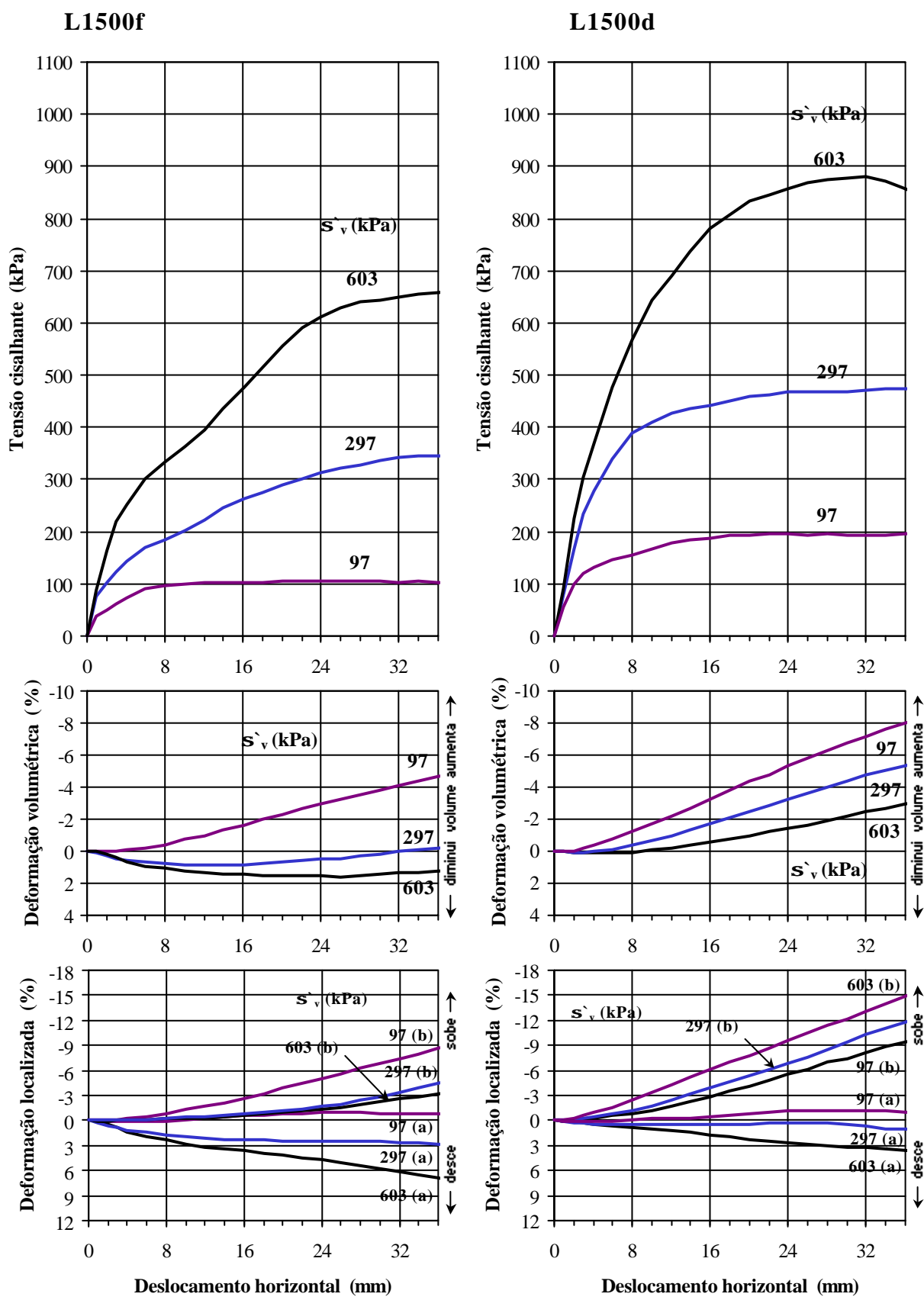


Figura iii.51 - Cisalhamento direto do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 1500h,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

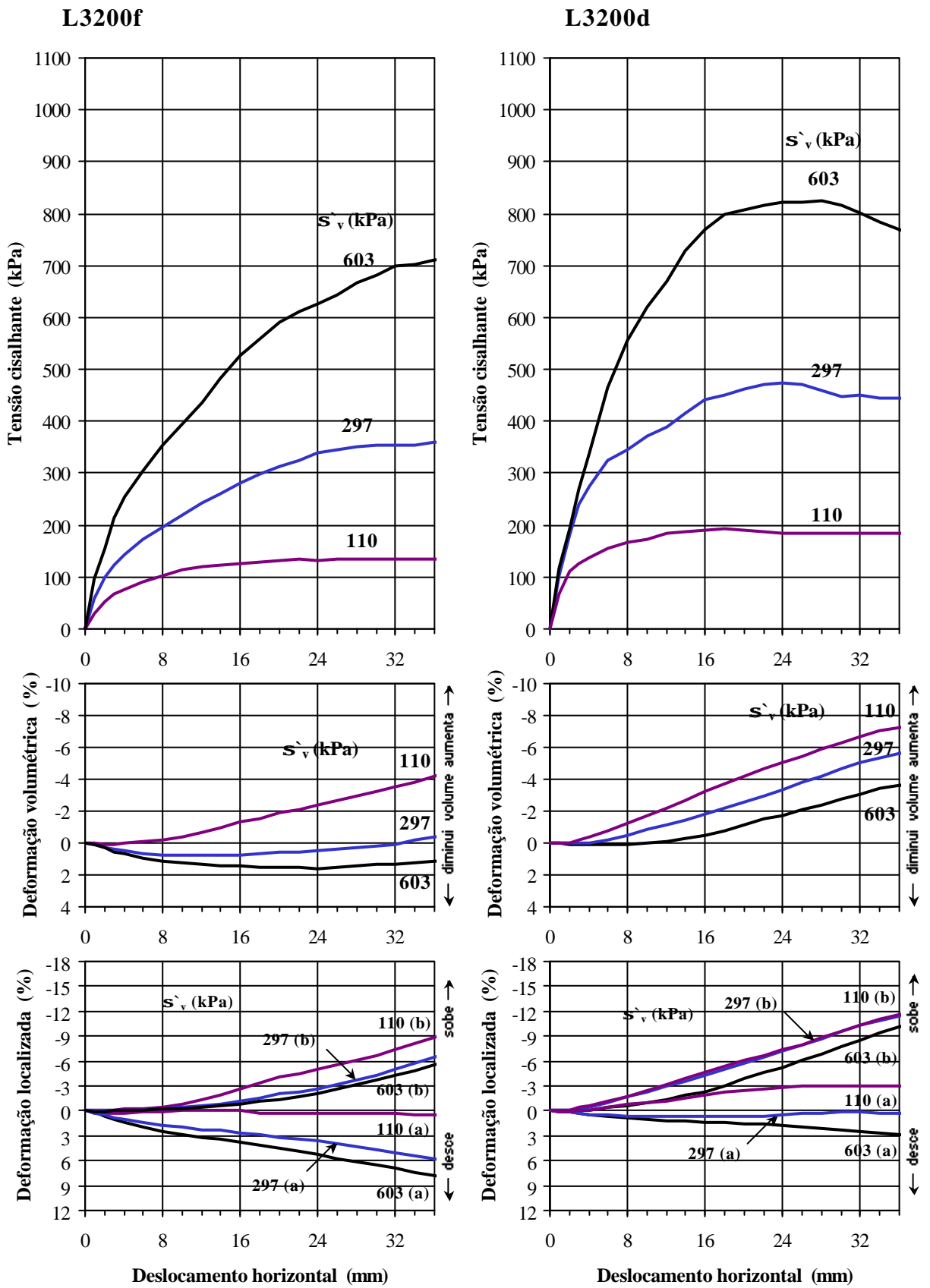


Figura iii.52 - Cisalhamento direto do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande, lixiviado por 3200h,  $d_{50} = 26\text{mm}$ .

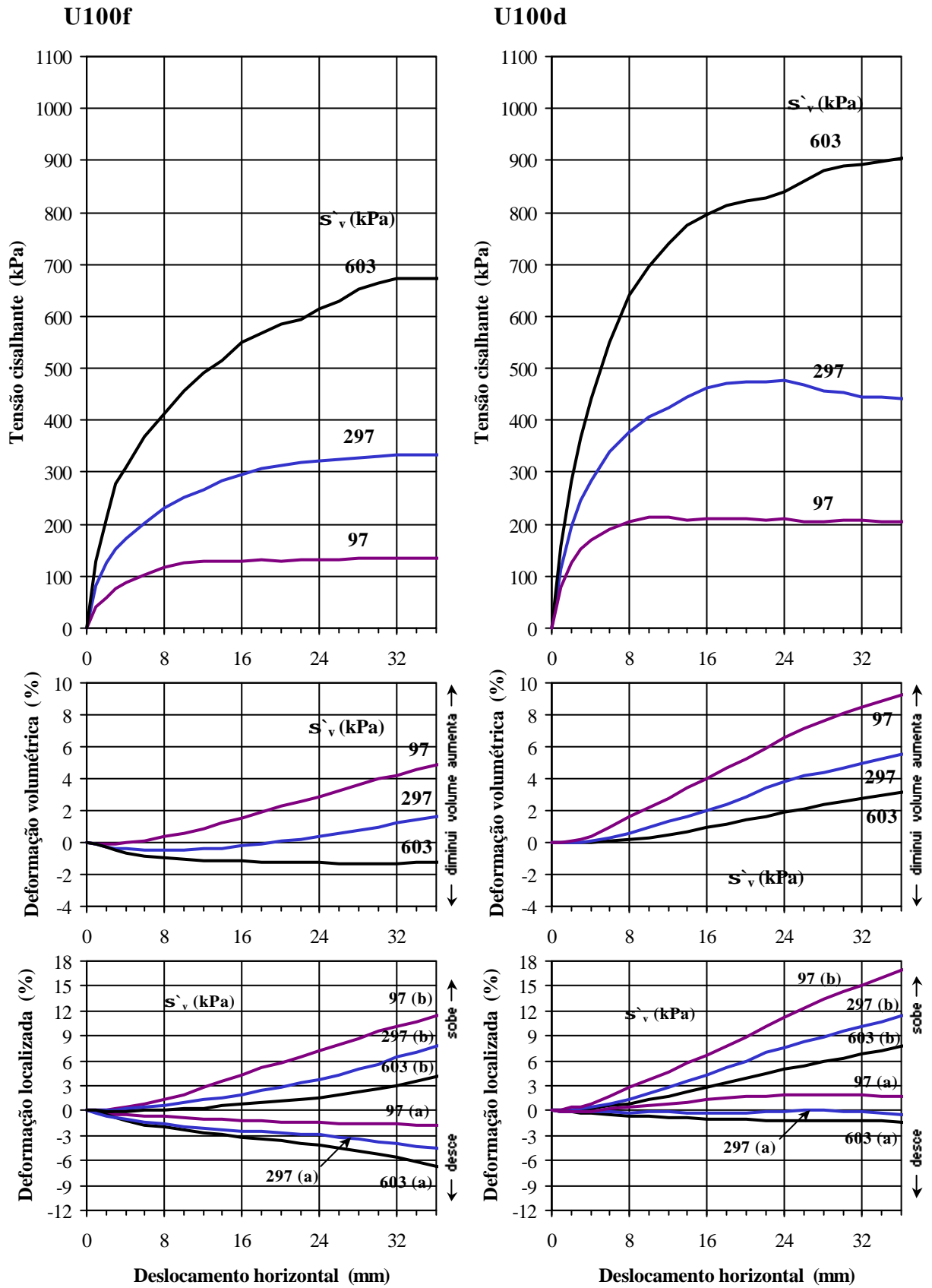


Figura iii.53 - Cisalhamento direto do enrocamento de basalto da Pedreira Rio Grande alterado com 100 ciclos de umidade, com  $d_{50} = 26\text{mm}$ .