



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO
Núcleo de Fundações e Obras Subterrâneas

Proc. 0405/532/1192

ENSAIOS DE JUNTAS DE ARGAMASSA PARA UM MODELO FÍSICO DE UMA BARRAGEM ABÓBADA A ENSAIAR NA MESA SÍSMICA

Estudo realizado para o Núcleo de Modelação
Matemática e Física

Lisboa • Março de 2009

I&D BARRAGENS DE BETÃO

RELATÓRIO 184/2009 – NFOS

**ENSAIOS DE JUNTAS DE ARGAMASSA PARA UM MODELO FÍSICO
DE UMA BARRAGEM ABÓBADA A ENSAIAR NA MESA SÍSMICA**

**MORTAR JOINT TESTS FOR A PHYSICAL MODEL
OF AN ARCH DAM TO BE TESTED ON A SHAKING TABLE**

**ESSAIS DE JOINTES DE COULIS POUR UN MODELE PHYSIQUE
D'UN BARRAGE VOUTE A ESSAIER SUR UNE TABLE SISMIQUE**

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENSAIOS DE JUNTAS	2
2.1 Descrição do equipamento	2
2.2 Procedimento dos ensaios	2
2.3 Resultados dos ensaios	2
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS	3
ANEXO A – Descrição do equipamento dos ensaios de juntas	A1 a A5
ANEXO B – Gráficos dos ensaios de juntas	B1 a B35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Aspecto de um provete com junta e da superfície de uma junta	1
Figura 2 – Valores das rigidezes normal e tangencial de todos os ensaios	8
Figura 3 – Tensões tangenciais de todos os ensaios e respectiva recta de Coulomb média	8
Figura 4 – Modelo de comportamento tangencial das juntas	9

ANEXO A

Figura A1 – Equipamento para a realização de ensaios de juntas	A4
Figura A2 – Pormenor do equipamento de ensaios de juntas	A5

ANEXO B

Figura B1 – Aplicação das tensões normais no provete 67	B3
Figura B2 – Aplicação das tensões normais no provete 68	B3
Figura B3 – Aplicação das tensões normais no provete 69	B4
Figura B4 – Aplicação das tensões normais no provete 70	B4
Figura B5 – Aplicação das tensões normais no provete 71	B5
Figura B6 – Aplicação das tensões normais no provete 72	B5
Figura B7 – Aplicação das tensões normais no provete 73	B6
Figura B8 – Aplicação das tensões normais no provete 74	B6
Figura B9 – Aplicação das tensões normais no provete 75	B7
Figura B10 – Aplicação das tensões normais no provete 76	B7
Figura B11 – Aplicação das tensões normais no provete 77	B8
Figura B12 – Aplicação das tensões normais no provete 78	B8
Figura B13 – Aplicação das tensões normais no provete 79	B9
Figura B14 – Aplicação das tensões normais no provete 80	B9
Figura B15 – Aplicação das tensões normais no provete 81	B10

Figura B16 – Aplicação das tensões normais no provete 82	B10
Figura B17 – Aplicação das tensões normais no provete 83	B11
Figura B18 – Aplicação das tensões normais no provete 84	B11
Figura B19 – Aplicação das tensões normais no provete 85	B12
Figura B20 – Aplicação das tensões normais no provete 86	B12
Figura B21 – Aplicação das tensões normais no provete 87	B13
Figura B22 – Aplicação das tensões normais no provete 88	B13
Figura B23 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 67	B14
Figura B24 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 67	B14
Figura B25 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 68	B15
Figura B26 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 68	B15
Figura B27 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 69	B16
Figura B28 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 69	B16
Figura B29 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 70	B17
Figura B30 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 70	B17
Figura B31 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 71	B18
Figura B32 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 71	B18
Figura B33 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 72	B19
Figura B34 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 72	B19
Figura B35 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 73	B20
Figura B36 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 73	B20
Figura B37 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 74	B21

Figura B38 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 74	B21
Figura B39 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 75	B22
Figura B40 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 75	B22
Figura B41 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 76	B23
Figura B42 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 76	B23
Figura B43 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 77	B24
Figura B44 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 77	B24
Figura B45 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 78	B25
Figura B46 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 78	B25
Figura B47 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 79	B26
Figura B48 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 79	B26
Figura B49 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 80	B27
Figura B50 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 80	B27
Figura B51 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 81	B28
Figura B52 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 81	B28
Figura B53 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 82	B29
Figura B54 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 82	B29
Figura B55 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 83	B30
Figura B56 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 83	B30

Figura B57 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 84	B31
Figura B58 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 84	B31
Figura B59 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 85	B32
Figura B60 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 85	B32
Figura B61 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 86	B33
Figura B62 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 86	B33
Figura B63 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 87	B34
Figura B64 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 87	B34
Figura B65 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 88	B35
Figura B66 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 88	B35

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Resultados dos ensaios	5
---	---

ENSAIOS DE JUNTAS DE ARGAMASSA PARA UM MODELO FÍSICO DE UMA BARRAGEM ABÓBADA A ENSAIAR NA MESA SÍSMICA

1. INTRODUÇÃO

Com o propósito de desenvolver um modelo físico de uma barragem abóbada a ser ensaiada na mesa sísmica tri-dimensional sob o efeito de acções dinâmicas, foi solicitada a realização de um conjunto de ensaios de deslizamento de juntas entre blocos da argamassa com que o modelo foi construído.

O presente relatório descreve o equipamento com que os ensaios foram efectuados e a respectiva técnica, e apresenta os resultados encontrados.

Foi ensaiado um conjunto de 22 provetes, que pretendiam simular as juntas verticais do modelo da barragem. Apesar as juntas de apresentarem alguma coesão, a ligação entre os blocos era facilmente desfeita, para tal bastando, na maioria dos casos, o simples manuseamento dos provetes durante a sua preparação e colocação na máquina de ensaios; tal levou a que estes a maioria dos provetes ensaiados já se encontrassem desligados. Na Figura 1 podem observar-se o aspecto de um provete com a junta e da superfície da junta de um outro.



Figura 1 – Aspecto de um provete com junta e da superfície de uma junta

2. ENSAIOS DE JUNTAS

2.1 Descrição do equipamento

Os ensaios de juntas para modelos físicos geomecânicos foram realizados num equipamento projectado e construído no LNEC, cuja descrição se encontra no Anexo A.

2.2 Procedimento dos ensaios

O ensaio de cada provete consta de um conjunto de deslizamentos sucessivos da mesma junta, sob diversas tensões normais mantidas constantes ao longo do movimento. Todos os deslizamentos são realizados depois de posicionados os blocos da junta na mesma posição relativa inicial e de removidos todos os detritos provenientes do desgaste da superfície da junta durante o deslizamento anterior.

Nestes ensaios foram utilizadas as seguintes 5 tensões normais para os vários deslizamentos: 40, 80, 160, 240 e 320 kPa. De modo a minimizar o efeito do desgaste das superfícies das juntas, os vários deslizamentos de cada provete foram realizados por ordem crescente da tensão normal.

Antes de ser aplicada a tensão normal de cada deslizamento, os provetes eram submetidos a um ciclo de carga-descarga até uma tensão normal elevada, após o que eram aplicadas as tensões normais a que os deslizamentos iam ser realizados. Este procedimento destinava-se a garantir que as condições iniciais de cada deslizamento eram as mais semelhantes possível.

2.3 Resultados dos ensaios

Tanto no caso dos deslizamentos como no caso dos ciclos de carga normal, a apresentação dos resultados de cada provete efectua-se reunindo os ciclos de carga-descarga, realizados previamente a todos os deslizamentos, e os deslizamentos sob as diversas tensões normais.

Durante a fase de aplicação da carga normal, antes da execução de cada um dos cinco deslizamentos, foram medidos os deslocamentos normais e as correspondentes tensões

normais, que permitiram traçar os gráficos tensão normal vs deslocamento normal, que são apresentados no Anexo B (Figuras B1 a B22).

Por sua vez, os valores registados durante os vários deslizamentos de cada provete permitem apresentar os gráficos tensão tangencial vs deslocamento tangencial e deslocamento normal vs deslocamento tangencial, que igualmente se encontram no Anexo B. Dado que a interpretação de cada ensaio deve ter em conta em simultâneo o comportamento tangencial e a dilatação, os gráficos referidos de cada provete são apresentados na mesma página. Assim, as Figuras B23, B25, ..., B65 apresentam os gráficos tensão tangencial vs deslocamento tangencial e as Figuras B24, B26, ..., B66 os respectivos gráficos deslocamento normal vs deslocamento tangencial.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

A análise dos gráficos correspondentes à aplicação da carga normal (Figuras B1 a B22) permitiram verificar que, de uma forma geral, as relações tensão normal – deslocamento normal apresentavam um comportamento aproximadamente linear. Assim, foram determinados os valores das rigidezes normais K_n , a partir dos valores dos deslocamentos normais para as tensões normais de cada deslizamento (40, 80, 160, 240 e 320 kPa), considerando troços com comportamento linear. Nos casos dos troços que apresentavam comportamentos não lineares ou que eram muito diferentes dos restantes, os seus resultados não foram considerados. Os valores calculados para a rigidez normal de cada provete apresentam-se no quadro que integra todos os resultados destes ensaios (Quadro 1)

A análise global dos gráficos tensão tangencial vs deslocamento tangencial (Figuras B23, B25, ..., B65) mostra que o comportamento tangencial das juntas é caracterizado por um aumento inicial acentuado da tensão tangencial para deslocamentos tangenciais praticamente nulos ou muito baixos (cerca de 0,25 mm), seguido de uma zona de transição em que a tensão tangencial continua a aumentar com o deslocamento tangencial mas de uma forma cada vez menos pronunciada até que se atinga uma tensão tangencial máxima, que se mantém aproximadamente constante para valores do deslocamento tangencial superiores a cerca de 1 mm. Nestes casos, este valor da tensão tangencial foi considerado, para efeito dos cálculos, como a tensão tangencial resistente da junta para a tensão normal do respectivo deslizamento.

Nos ensaios de alguns provetes em que a junta não se encontrava desligada (provetes 82, 83 e 86), verificou-se, durante o primeiro deslizamento à tensão normal de 40 kPa, a ocorrência de um valor de pico da tensão tangencial antes do deslizamento, que corresponde à rotura da junta. Nestas ocasiões, foi considerado como tensão tangencial resistente o valor para um deslocamento tangencial mais alto em que a junta já se encontra em deslizamento franco.

Face a este andamento dos gráficos, foi considerado um modelo de comportamento de tipo elásto-plástico com uma rigidez tangencial independente da tensão normal e um modelo de Coulomb para a tensão tangencial resistente. Para cada provete foram determinados os valores das tensões tangenciais resistentes referentes a cada um dos 5 deslizamentos, como as médias aritméticas de todas as tensões tangenciais medidas após um deslocamento tangencial de 1 mm. O valor da rigidez tangencial K_t de cada provete foi calculado a partir dos quocientes entre a tensão tangencial e o deslocamento tangencial, quando a primeira atingia 80% do valor da tensão tangencial resistente, em cada um dos deslizamentos, tal como tem sido efectuado em ensaios de materiais semelhantes.

Como foi considerado um modelo com rigidez tangencial independente da tensão normal, o valor de K_t foi calculado como a média harmónica dos valores de cada deslizamento. Todavia, em alguns provetes nem todos os quocientes foram usados, sendo comum não considerar o resultado para a tensão normal mais baixa (40 kPa), quando este conduzia a valores de rigidez muito baixos.

Os valores das tensões tangenciais resistentes de cada deslizamento e das rigidezes tangenciais são apresentados no Quadro 1.

A análise dos gráficos do deslocamento normal no decurso dos deslizamentos permite afirmar que, na maioria dos ensaios, se verifica que, após uma fase inicial do deslizamento (até ser atingido o valor da tensão tangencial resistente), o deslocamento normal se mantém praticamente constante durante o deslizamento. Todavia, em alguns ensaios (provetes 74, 75, 76, 80, 82 e 86), o deslocamento normal revela um aumento ou uma diminuição lineares durante os deslizamentos.

Considerando a dilatância $tg \ i$ como o simétrico da inclinação dos gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial (para que o efeito de abertura da junta tenha o sinal positivo), foram calculados valores para os ângulos de dilatância quase nulos e sempre inferiores a $\pm 1^\circ$.

Estes resultados, que se encontram igualmente no Quadro 1, podem ser atribuídos a pequenos desvios em relação à horizontalidade dos planos médios das juntas, dado que estas apresentam superfícies de contacto praticamente planas (sem rugosidade).

No Quadro 1, apresentam-se, também, os valores médios das grandezas determinadas a partir dos ensaios.

Quadro 1 – Resultados dos ensaios

Provede	Rigidez normal (MPa/mm)	Tensão normal (kPa)	Tensão tangencial (kPa)	Rigidez tangencial (MPa/mm)	Dilatância
67	0,9	40	27,2	0,7	-0,002
		80	55,1		
		160	113,0		
		240	171,5		
		320	228,5		
68	2,2	40	24,5	0,6	0,001
		80	54,3		
		160	116,7		
		240	137,9		
		320	195,7		
69	0,9	40	29,5	0,8	-0,004
		80	60,5		
		160	120,1		
		240	179,3		
		320	241,6		
70	5,8	40	22,8	0,6	0,001
		80	55,7		
		160	121,9		
		240	177,8		
		320	242,5		
71	1,4	40	30,5	0,6	-0,004
		80	57,7		
		160	117,7		
		240	171,0		
		320	235,5		
72	1,0	40	30,9	0,6	-0,005
		80	61,9		
		160	119,5		
		240	179,6		
		320	226,6		
73	1,0	40	32,6	1,2	-0,003
		80	63,2		
		160	122,7		
		240	178,4		
		320	236,7		

Quadro 1 – Resultados dos ensaios (continuação)

Provete	Rigidez normal (MPa/mm)	Tensão normal (kPa)	Tensão tangencial (kPa)	Rigidez tangencial (MPa/mm)	Dilatância
74	0,8	40	32,5	1,0	-0,009
		80	58,9		
		160	121,2		
		240	159,9		
		320	235,6		
75	0,9	40	30,1	0,3	-0,004
		80	57,0		
		160	108,6		
		240	169,4		
		320	239,3		
76	0,6	40	39,3	0,2	-0,004
		80	65,3		
		160	121,6		
		240	181,3		
		320	240,6		
77	3,5	40	38,5	0,4	0,002
		80	47,0		
		160	118,3		
		240	144,2		
		320	209,8		
78	1,3	40	31,1	0,3	-0,002
		80	53,2		
		160	110,7		
		240	131,1		
		320	232,8		
79	2,2	40	17,1	2,1	-0,003
		80	51,9		
		160	119,5		
		240	157,9		
		320	233,6		
80	1,0	40	38,2	0,3	0,008
		80	64,4		
		160	121,3		
		240	180,2		
		320	251,3		
81	0,8	40	27,4	0,5	-0,003
		80	59,4		
		160	119,8		
		240	177,3		
		320	227,0		
82	0,6	40	42,4	0,4	0,041
		80	70,9		
		160	136,6		
		240	194,0		
		320	243,8		

Quadro 1 – Resultados dos ensaios (continuação)

Provete	Rigidez normal (MPa/mm)	Tensão normal (kPa)	Tensão tangencial (kPa)	Rigidez tangencial (MPa/mm)	Dilatância
83	0,9	40	28,0	0,7	-0,001
		80	61,2		
		160	126,0		
		240	185,2		
		320	249,2		
84	1,0	40	22,8	0,6	-0,006
		80	51,2		
		160	115,2		
		240	172,0		
		320	233,8		
85	0,7	40	32,7	0,4	0,002
		80	65,8		
		160	132,5		
		240	195,9		
		320	262,0		
86	1,3	40	–	0,3	0,017
		80	73,9		
		160	135,2		
		240	192,0		
		320	251,4		
87	1,0	40	31,2	1,1	0,000
		80	64,2		
		160	129,4		
		240	197,4		
		320	251,4		
88	1,6	40	27,5	0,4	-0,001
		80	59,9		
		160	123,5		
		240	177,2		
		320	237,3		
Média	1,1	40	30,3	0,5	0,001
		80	59,7		
		160	121,4		
		240	173,2		
		320	236,6		

Na Figura 2 apresentam-se graficamente os valores das rigidezes normal e tangencial de todos os provetes, que permitem verificar que a rigidez normal é, em regra, superior à rigidez tangencial. Para a rigidez normal média foi calculado um valor de **1,1 MPa/mm** e para a rigidez tangencial média um valor de **0,5 MPa/mm**.

Na Figura 3 encontram-se representados em gráficos tensão tangencial vs tensão normal os valores das tensões tangenciais resistentes, bem como os respectivos valores médios e a envolvente linear de Coulomb que melhor se lhes adaptam. A recta de Coulomb média apresenta uma coesão aparente de 1,5 kPa e um coeficiente de atrito de **0,730**, a que corresponde um ângulo de atrito de **36,1°**.

Face à dispersão dos valores da tensão tangencial, com desvios padrão superiores a 6 kPa, pode considerar-se que o comportamento das juntas é perfeitamente atrítico.

O valor da dilatância média é praticamente nulo (0,001), tal como seria de prever face à rugosidade quase nula das juntas.

Considerando, então, o modelo de comportamento elásto-plástico de rigidez tangencial constante e coesão aparente nula, pode construir-se o gráfico da Figura 4, que condensa as características de resistência e deformabilidade do comportamento tangencial dos provetes de juntas de argamassa ensaiados.

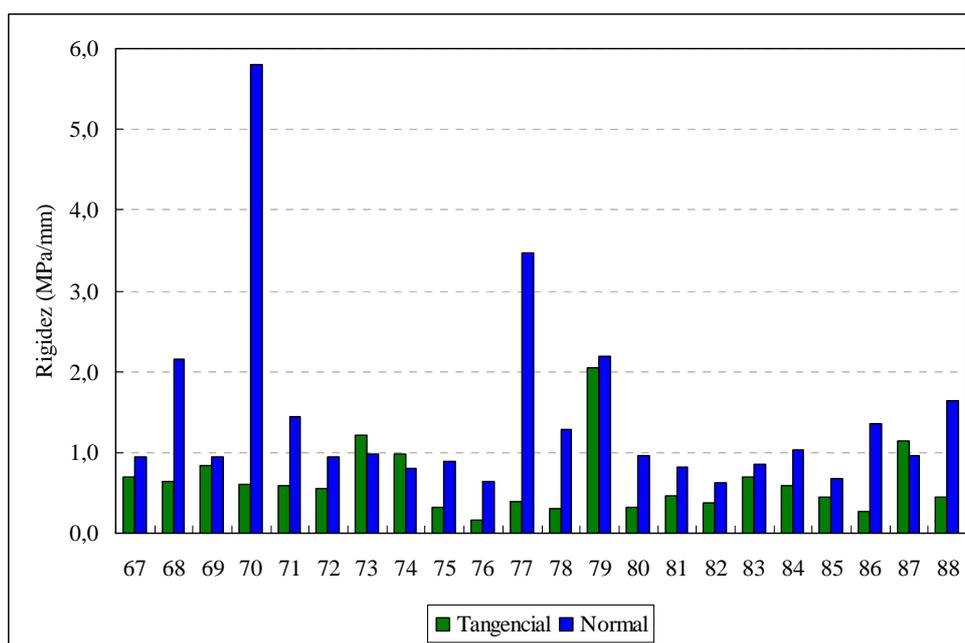


Figura 2 – Valores das rigidezes normal e tangencial de todos os ensaios

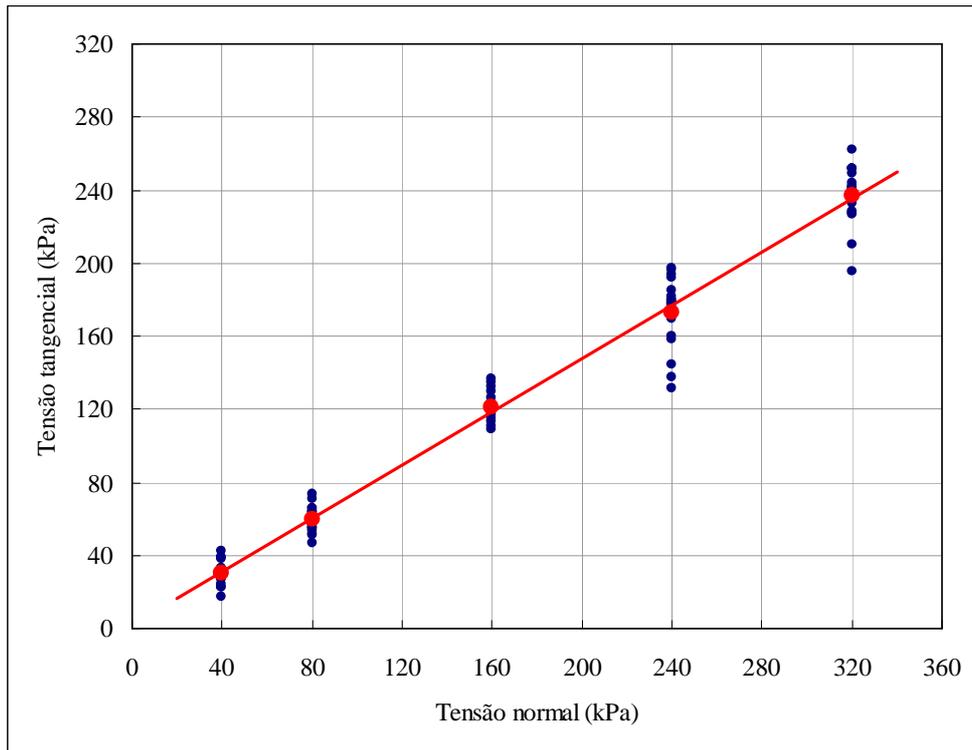


Figura 3 – Tensões tangenciais de todos os ensaios e respectiva recta de Coulomb média

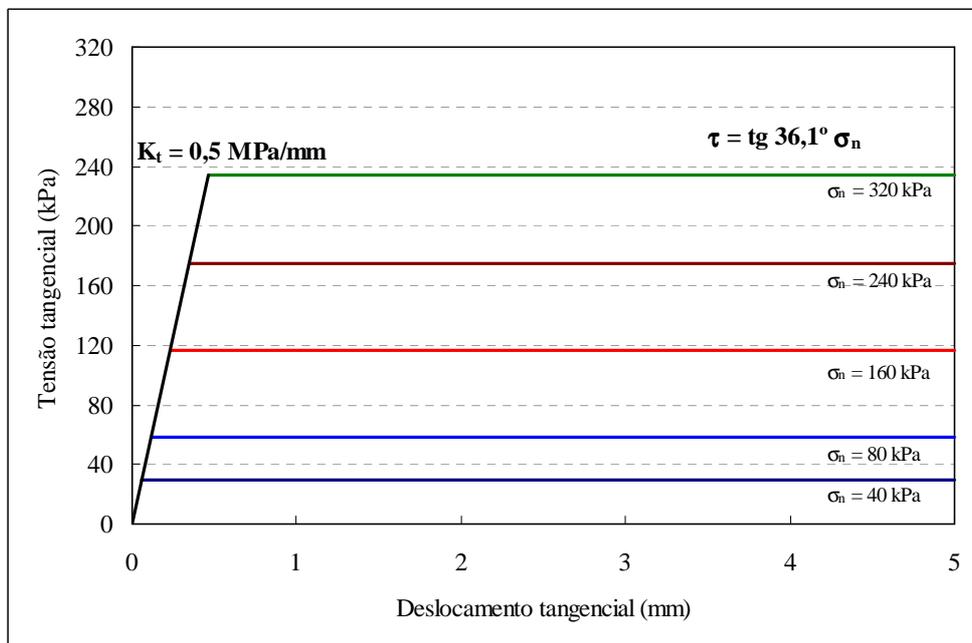


Figura 4 – Modelo de comportamento tangencial das juntas

VISTOS

AUTORIA

O Chefe do Núcleo de Fundações
e Obras Subterrâneas



Luís Nolasco Lamas



José Muralha

Investigador Principal

O Director do Departamento de Barragens
de Betão



Carlos Alberto de Brito Pina

ANEXO A
DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO DOS ENSAIOS DE JUNTAS

DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO DOS ENSAIOS DE JUNTAS

Os ensaios de juntas para modelos físicos geomecânicos foram realizados num equipamento projectado e construído no LNEC, que tem por base um quadro constituído por perfis UPN 180 e HEA 200 tamponados, que serve para mobilizar as reacções necessárias aos macacos hidráulicos que aplicam as forças normal e tangencial.

A força tangencial é aplicada horizontalmente por um macaco hidráulico com uma capacidade de 100 kN e um curso de 100 mm. A força normal, aplicada verticalmente, é obtida por meio de um sistema mecânico de alavanca montado transversalmente ao quadro metálico de reacção. Este sistema, para além de garantir que as tensões normais se mantêm constantes durante a realização dos deslizamentos, possibilita a aplicação de tensões normais bastante baixas, da ordem de 10–20 kPa, que seriam muito difíceis de conseguir com um sistema hidráulico convencional.

A força tangencial é medida por uma célula Novatech do tipo F243 de 5 kN e com uma saída de 2.346 mV/V para o fim de escala. Dado que o sistema mecânico de alavanca foi previamente calibrado, as forças normais não são medidas directamente, bastando, para determinar a tensão normal, conhecer a área das juntas, os pesos dos elementos sobre ela colocados (chapas metálicas, rótulas e roletes) e os pesos a actuar na alavanca.

Os deslocamentos são medidos por transdutores de tipo resistivo da marca TML: o deslocamento normal por 4 transdutores CDP-5 com uma amplitude de 5 mm e uma saída de 1 mV/V por mm; o deslocamento tangencial por 2 transdutores CDP-10 com uma amplitude de 10 mm e uma saída de 0,5 mV/V por mm. Os transdutores de deslocamentos são colocados em bases metálicas e postos em contacto com a junta por meio de pequenas chapas de perspex, coladas à metade superior (móvel) da junta.

A Figura A1 mostra o quadro metálico com os macacos hidráulicos, a bomba eléctrica do sistema hidráulico, os actuadores de pressão e os manómetros.



Figura A1 – Equipamento para a realização de ensaios de juntas

Na Figura A2, apresenta-se um pormenor dos provetes de juntas com o macaco, os deflectómetros e as peças de perspex fixadas ao provete e que permitem a medição dos deslocamentos.

Foi usado, ainda, um deflectómetro de ponteiro, que permite o controlo da velocidade de deslocamento tangencial, em especial, na fase de rotura dos ensaios de corte.

Todas as medições são efectuadas por um sistema de controlo e aquisição Hewlett-Packard (modelo 3852A) com 5½ dígitos de resolução. O desenrolar dos ensaios é monitorizado por um programa de computador, que apresenta os gráficos requeridos em cada fase do ensaio (carga normal e deslizamento), controla as medições em cada patamar de leitura e armazena esses resultados.

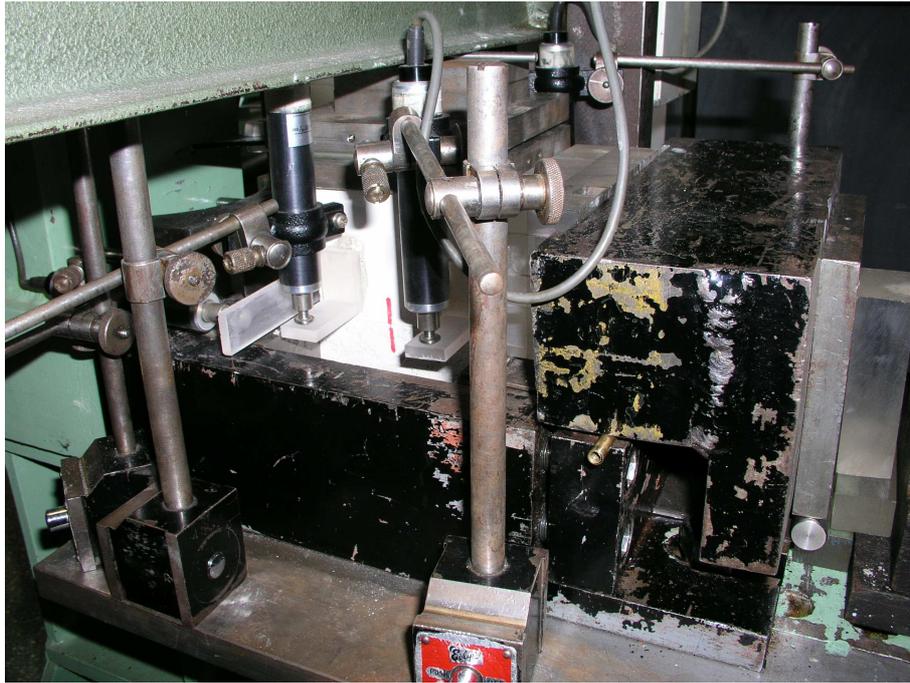


Figura A2 – Pormenor do equipamento de ensaios de juntas

ANEXO B
GRÁFICOS DOS ENSAIOS DE JUNTAS

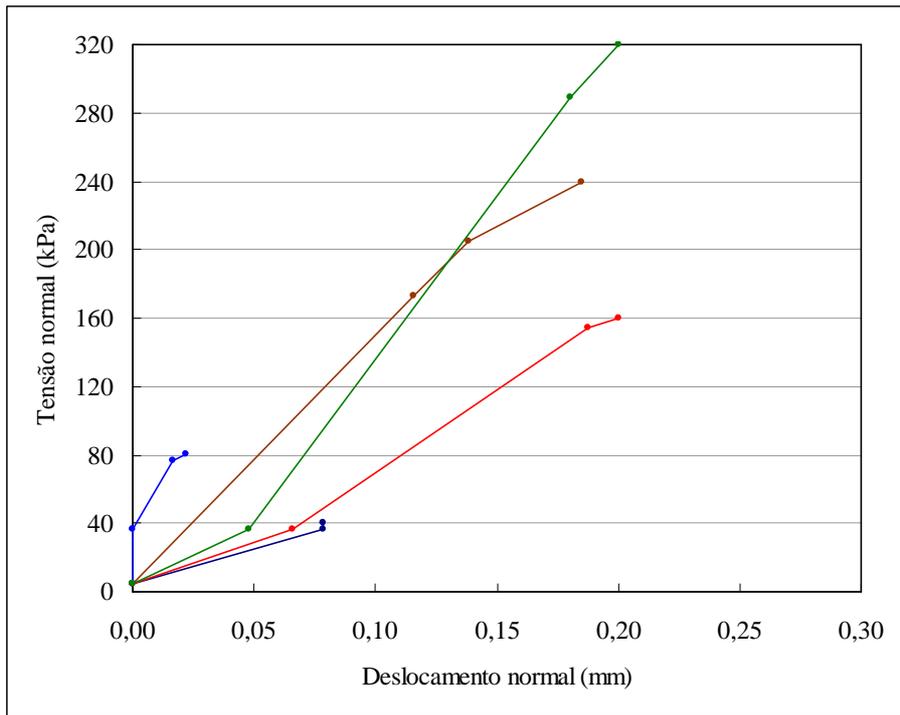


Figura B1 – Aplicação das tensões normais no provete 67

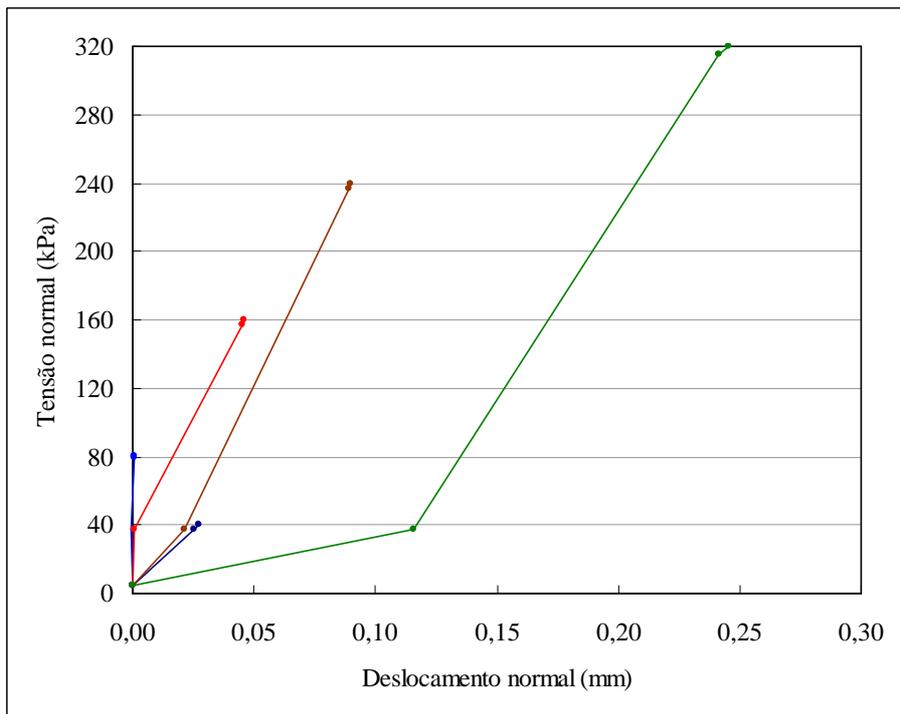


Figura B2 – Aplicação das tensões normais no provete 68

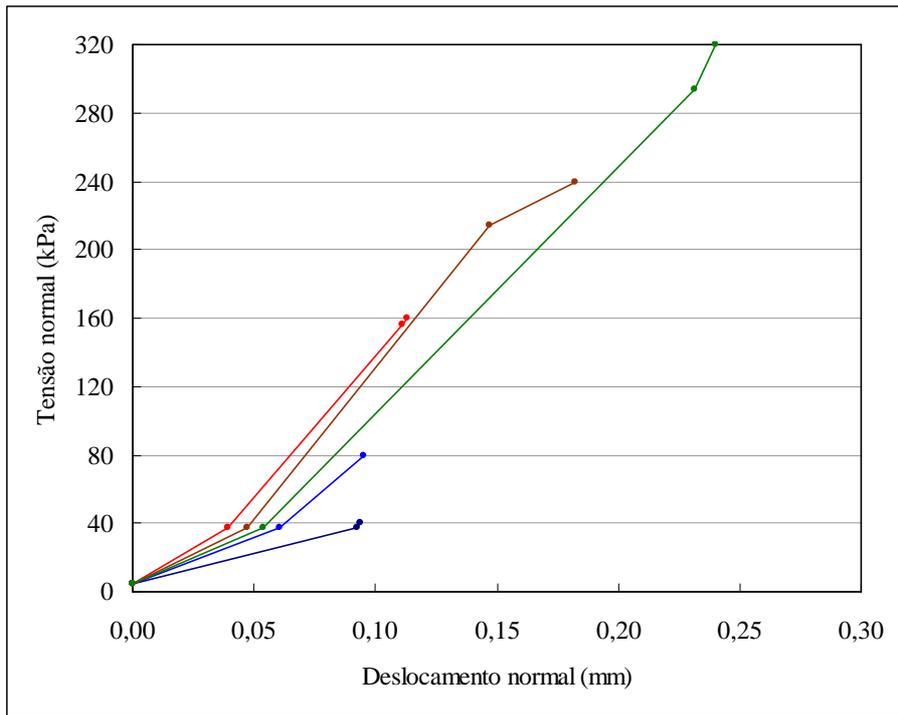


Figura B3 – Aplicação das tensões normais no provete 69

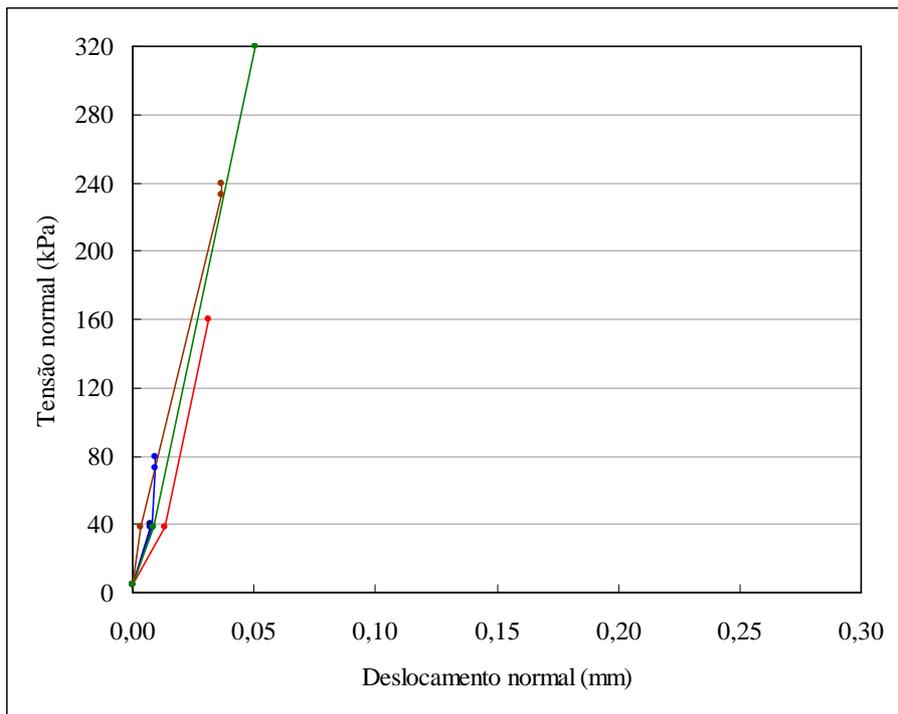


Figura B4 – Aplicação das tensões normais no provete 70

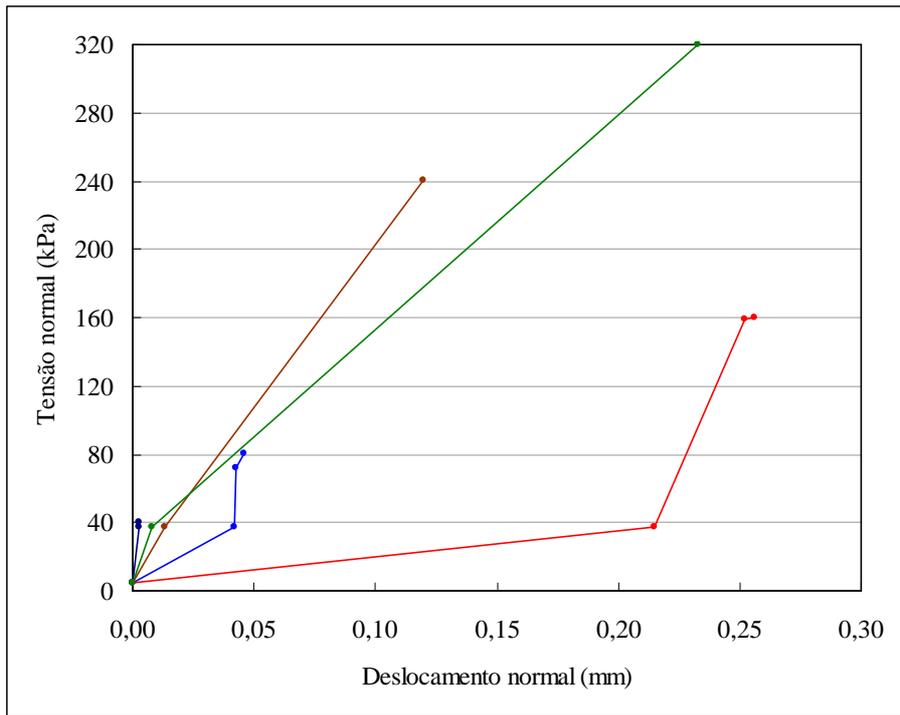


Figura B5 – Aplicação das tensões normais no provete 71

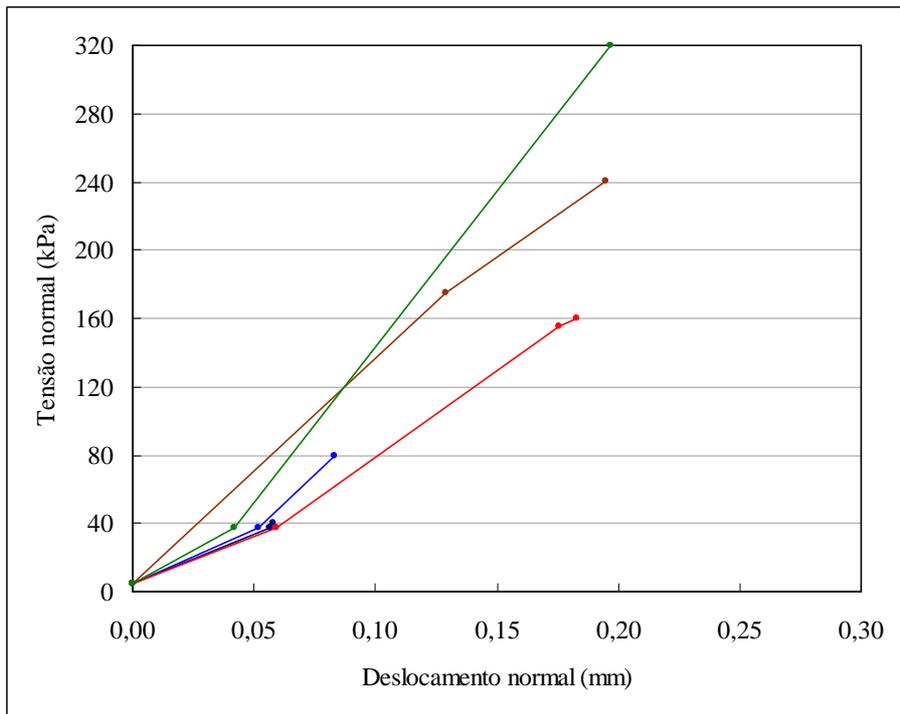


Figura B6 – Aplicação das tensões normais no provete 72

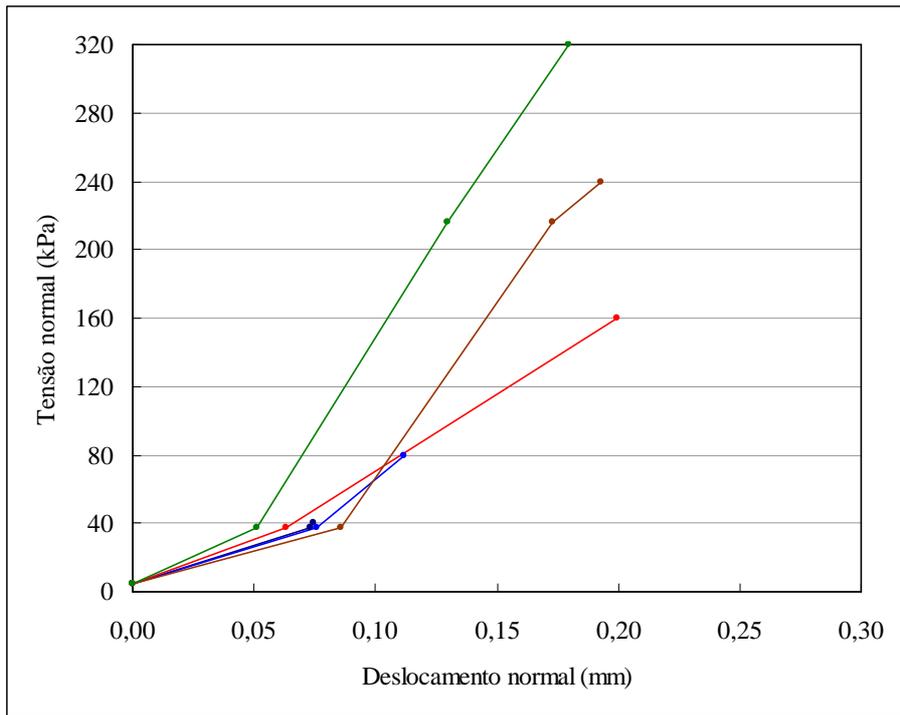


Figura B7 – Aplicação das tensões normais no provete 73

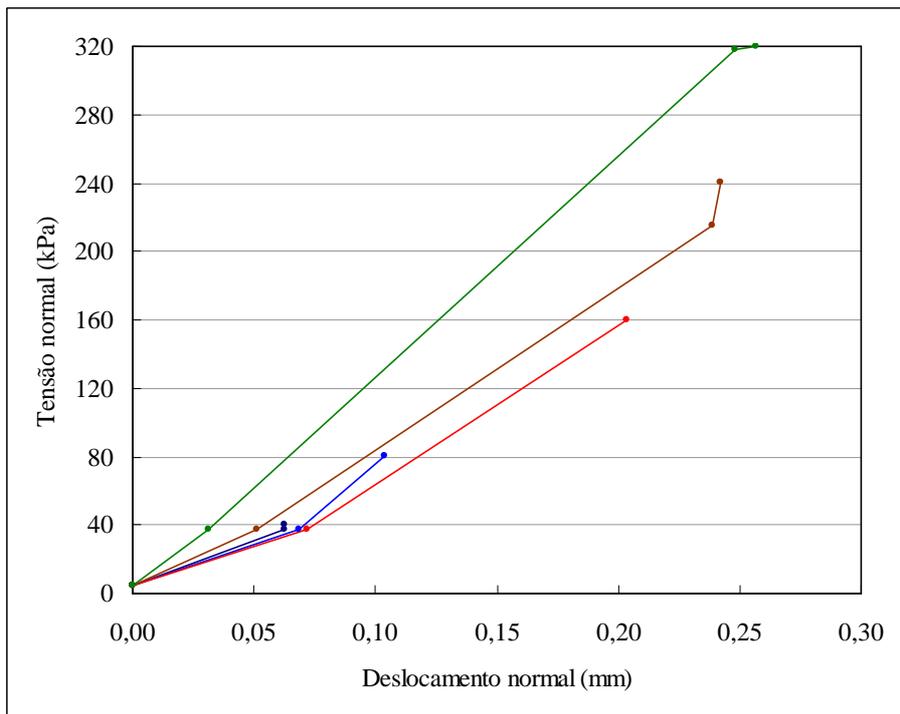


Figura B8 – Aplicação das tensões normais no provete 74

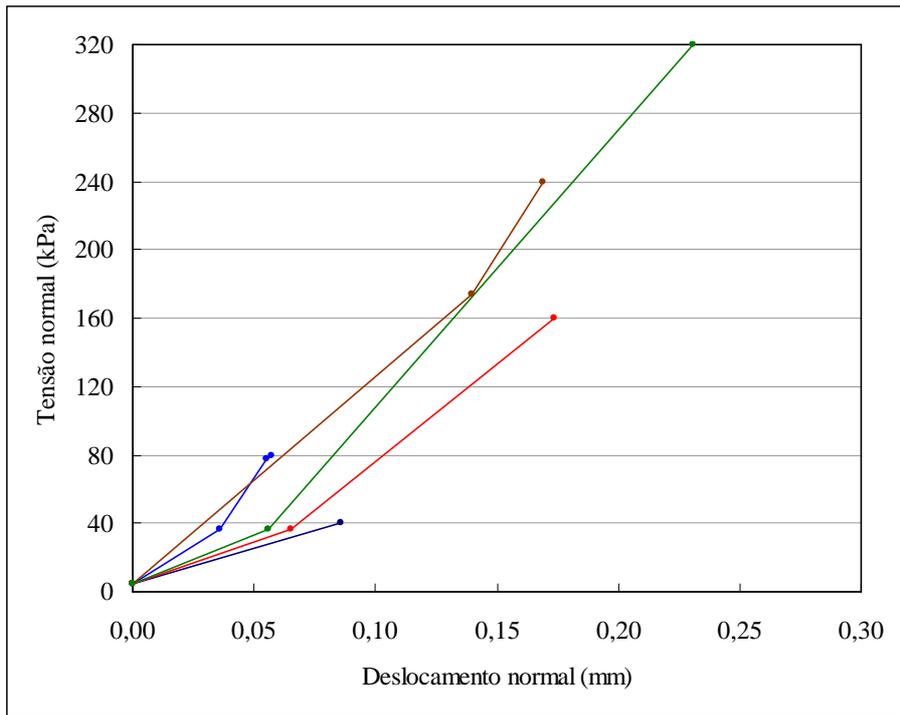


Figura B9 – Aplicação das tensões normais no provete 75

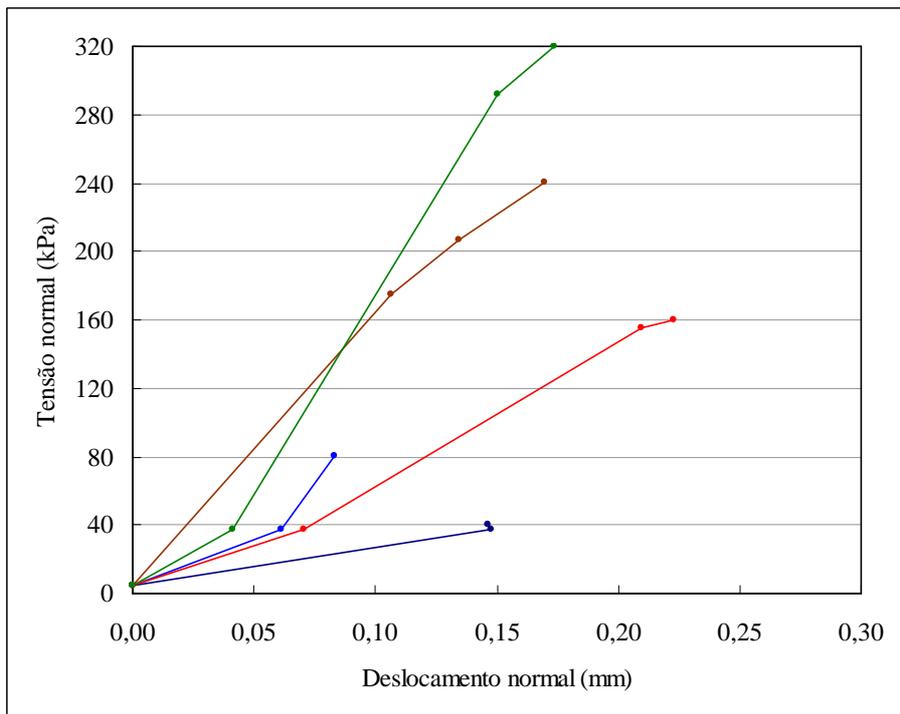


Figura B10 – Aplicação das tensões normais no provete 76

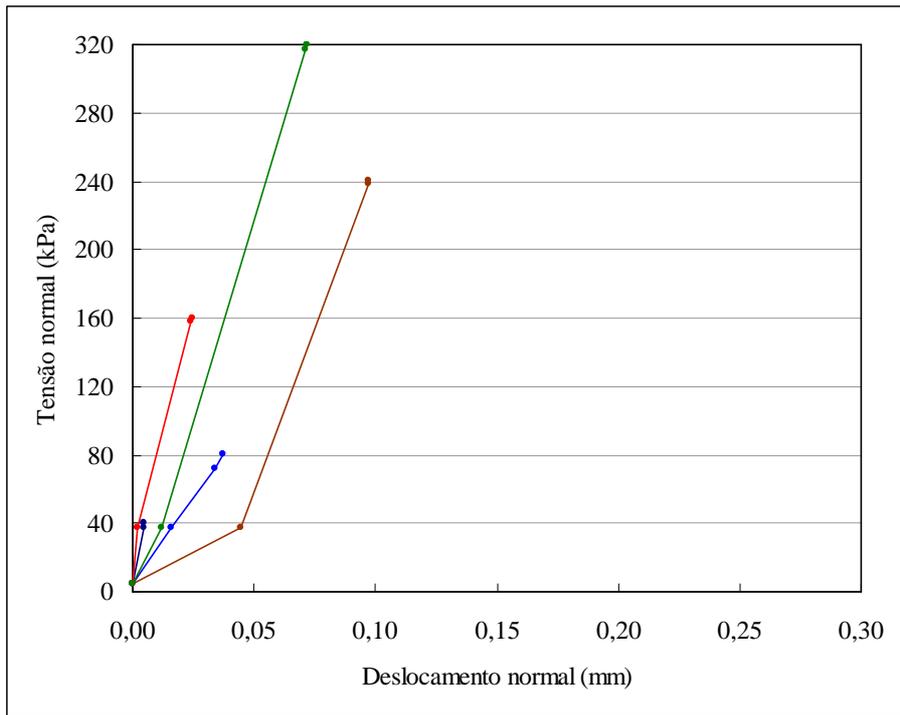


Figura B11 – Aplicação das tensões normais no provete 77

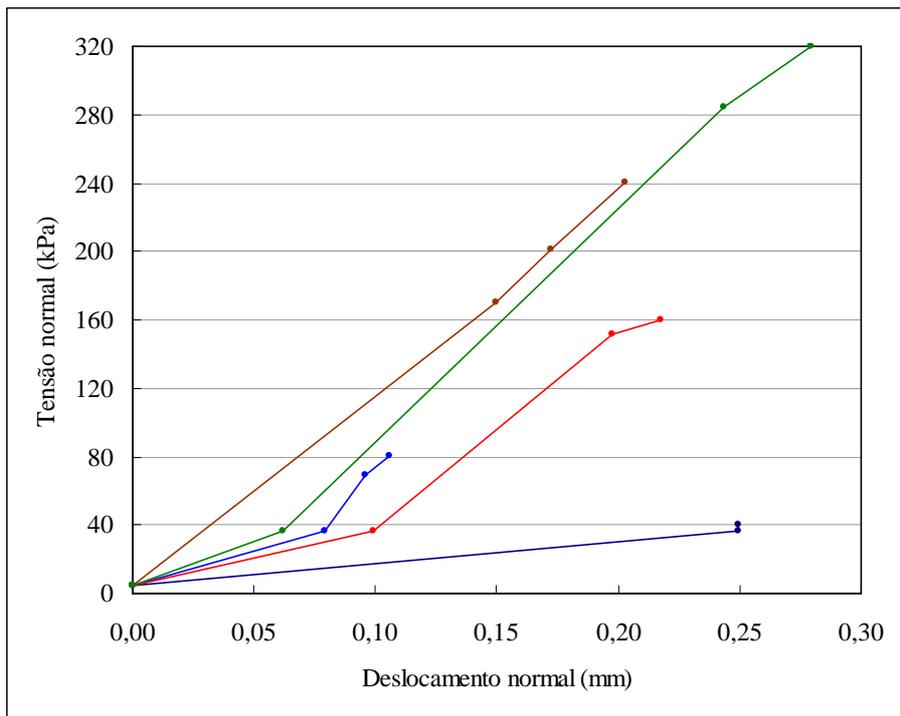


Figura B12 – Aplicação das tensões normais no provete 78

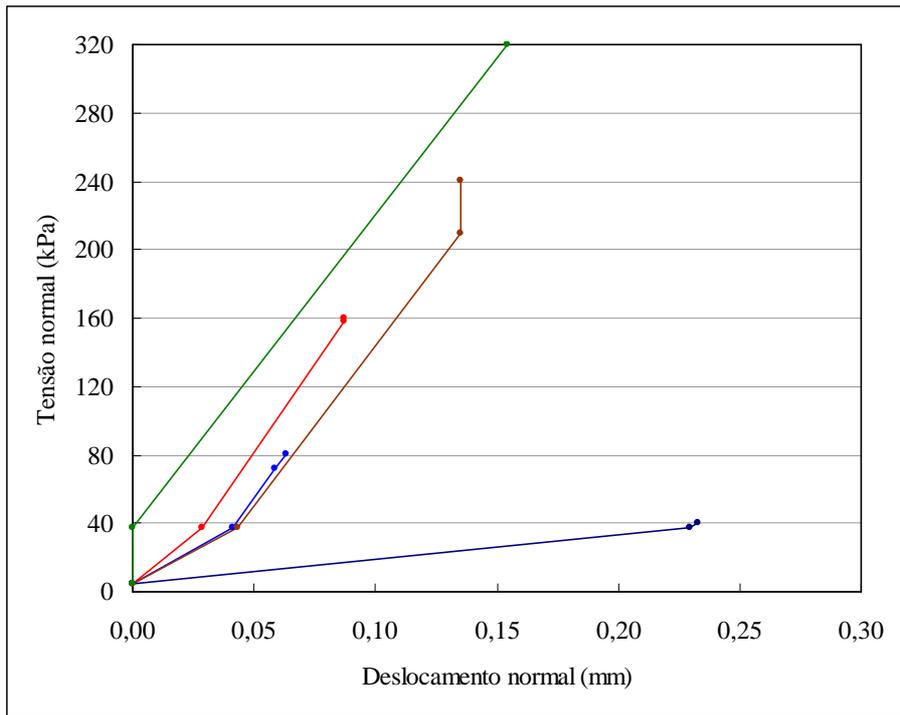


Figura B13 – Aplicação das tensões normais no provete 79

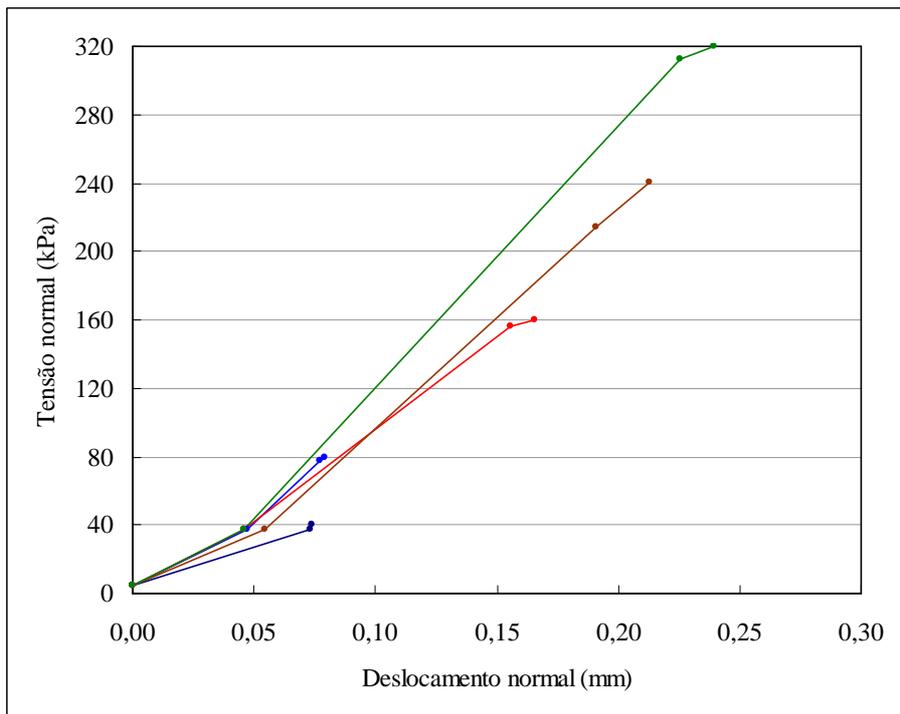


Figura B14 – Aplicação das tensões normais no provete 80

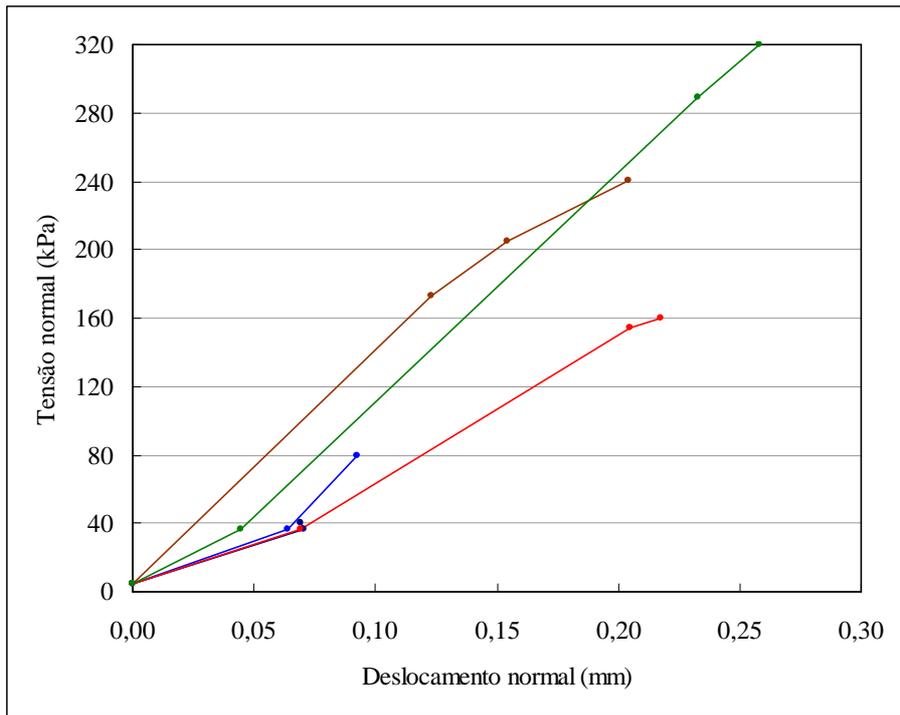


Figura B15 – Aplicação das tensões normais no provete 81

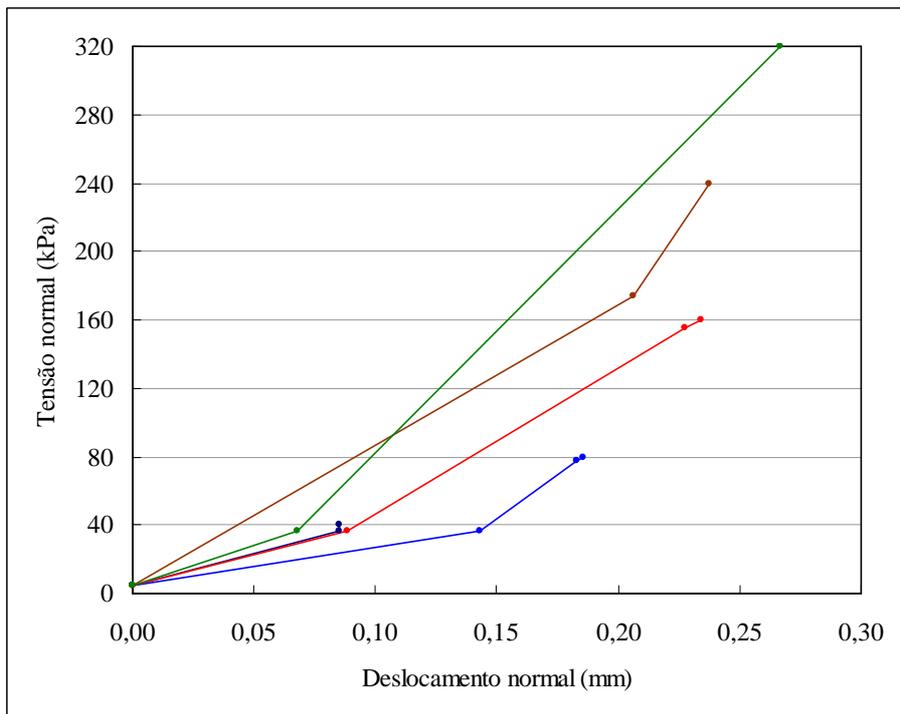


Figura B16 – Aplicação das tensões normais no provete 82

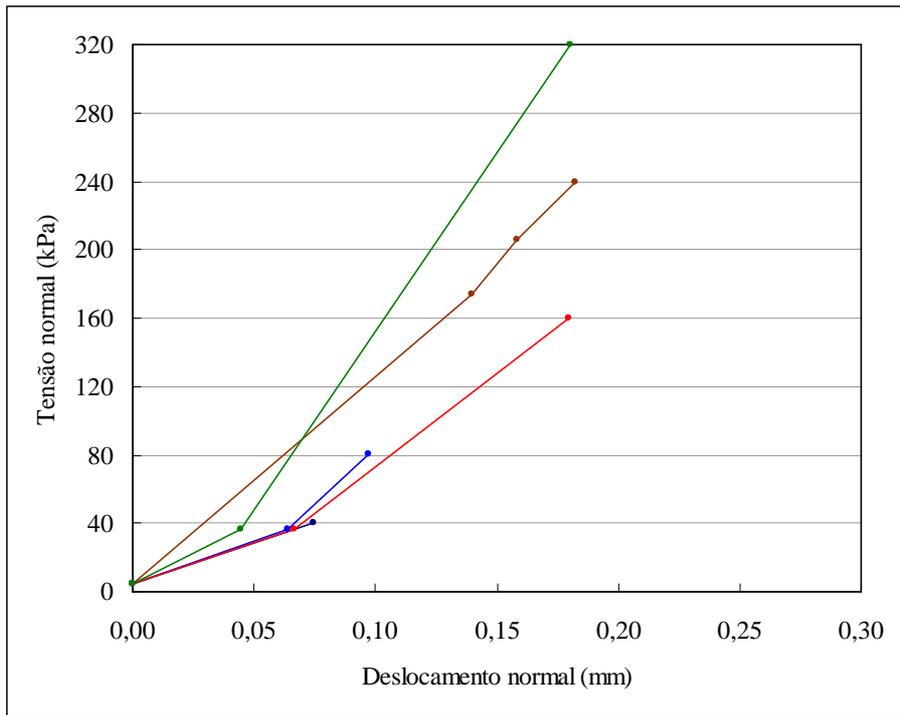


Figura B17 – Aplicação das tensões normais no provete 83

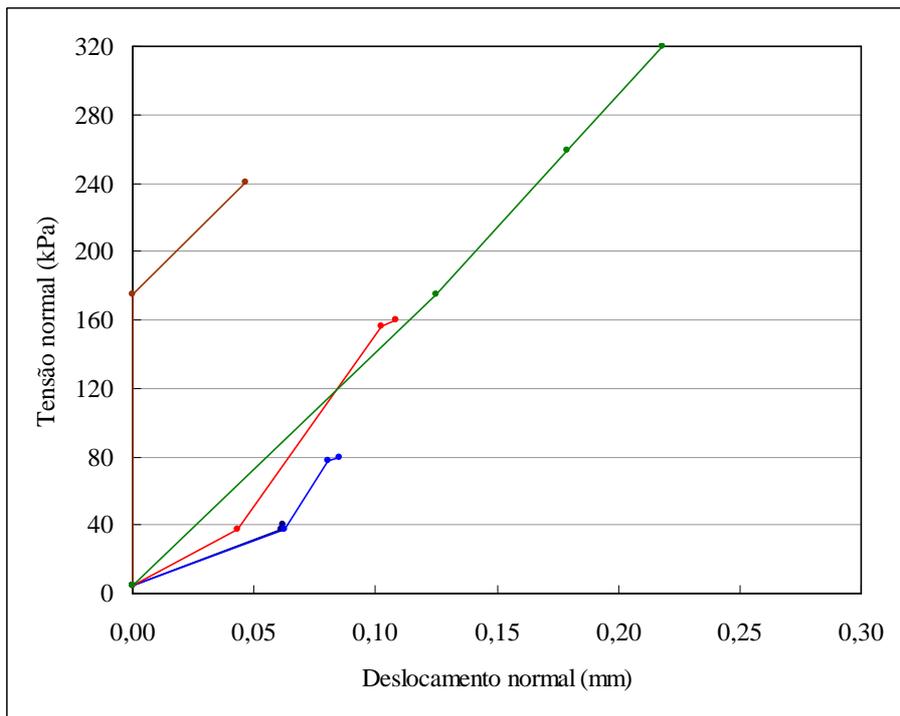


Figura B18 – Aplicação das tensões normais no provete 84

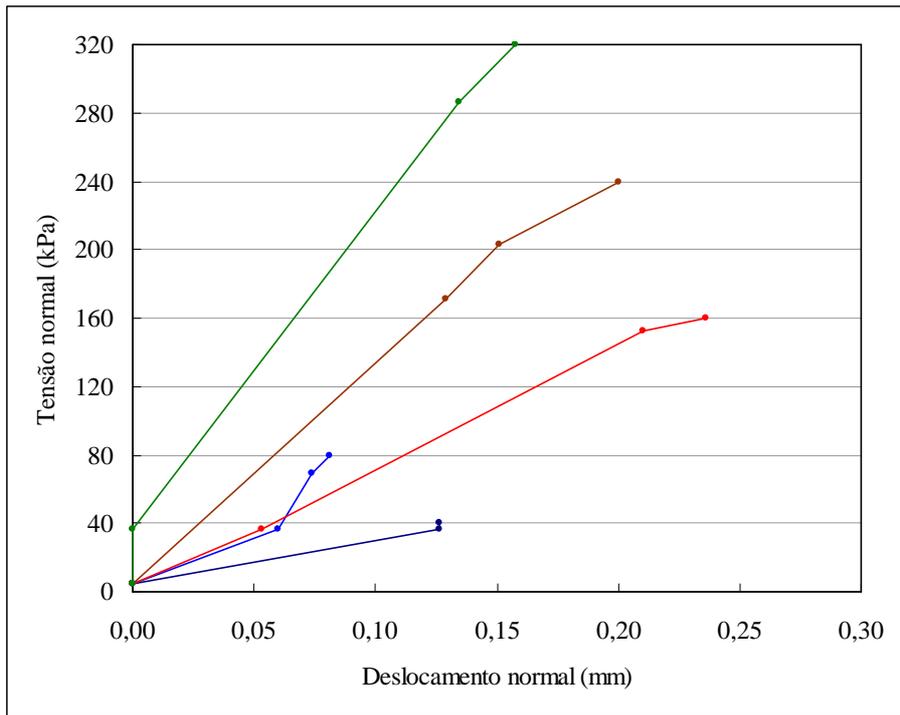


Figura B19 – Aplicação das tensões normais no provete 85

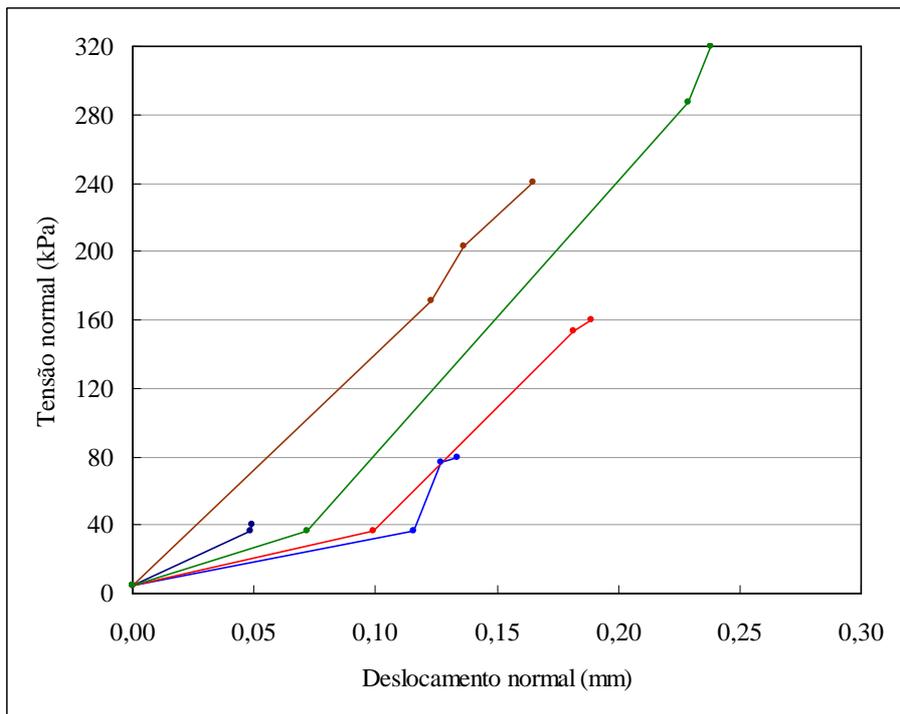


Figura B20 – Aplicação das tensões normais no provete 86

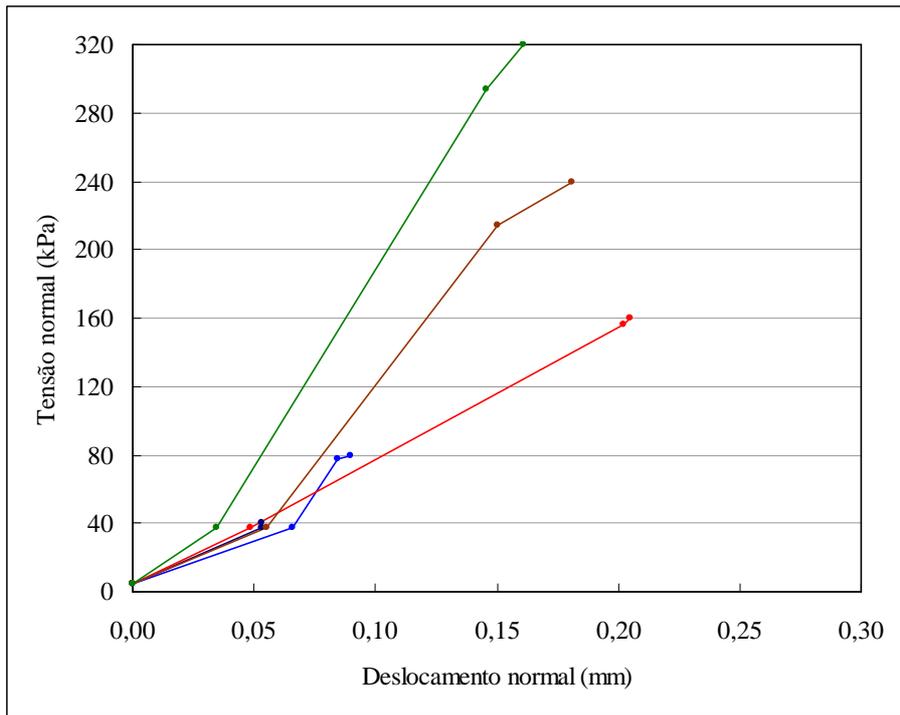


Figura B21 – Aplicação das tensões normais no provete 87

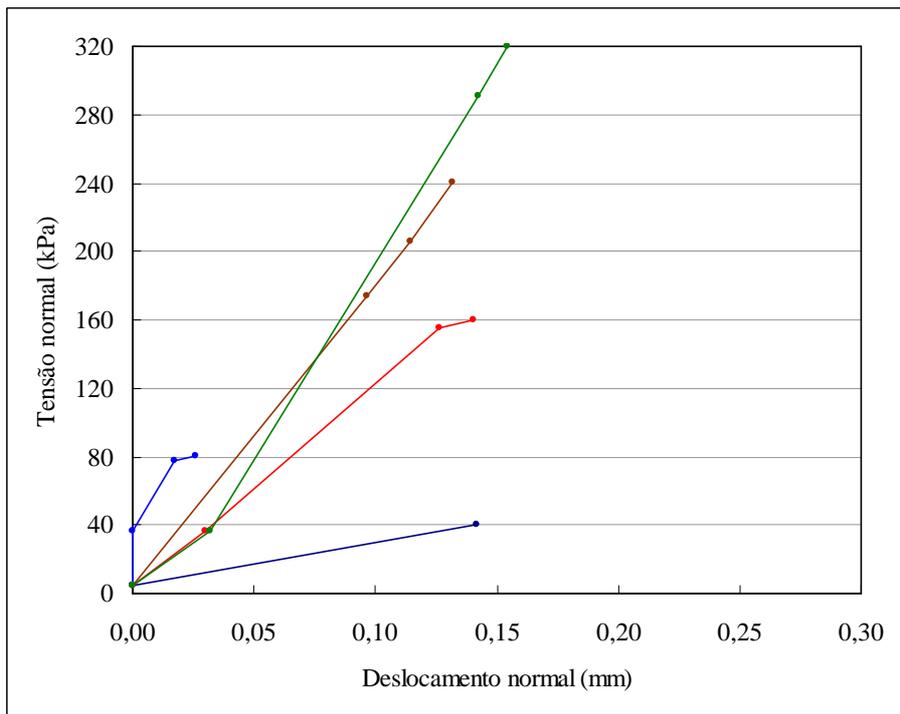


Figura B22 – Aplicação das tensões normais no provete 88

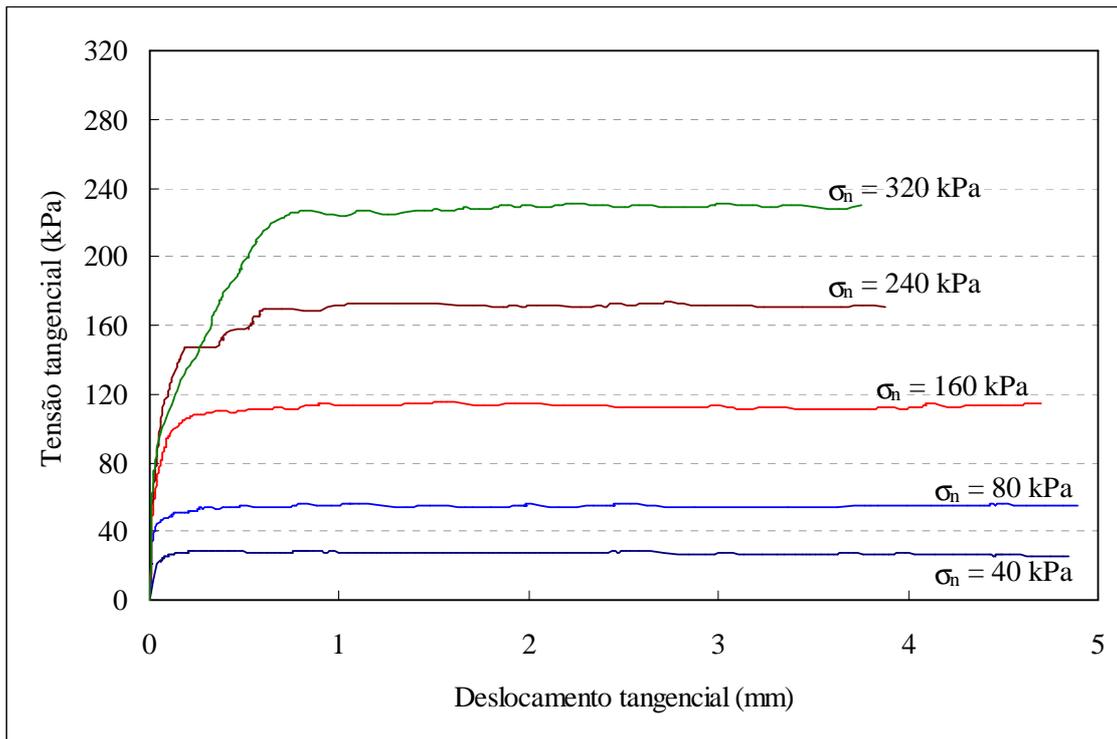


Figura B23 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 67

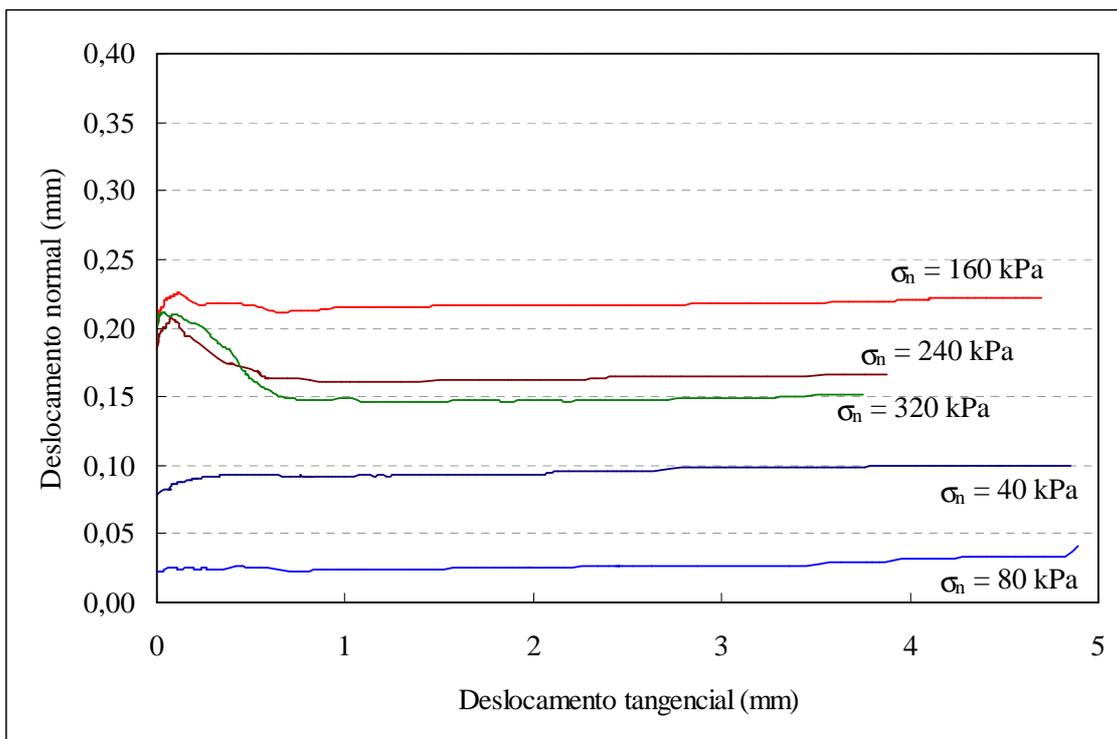


Figura B24 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 67

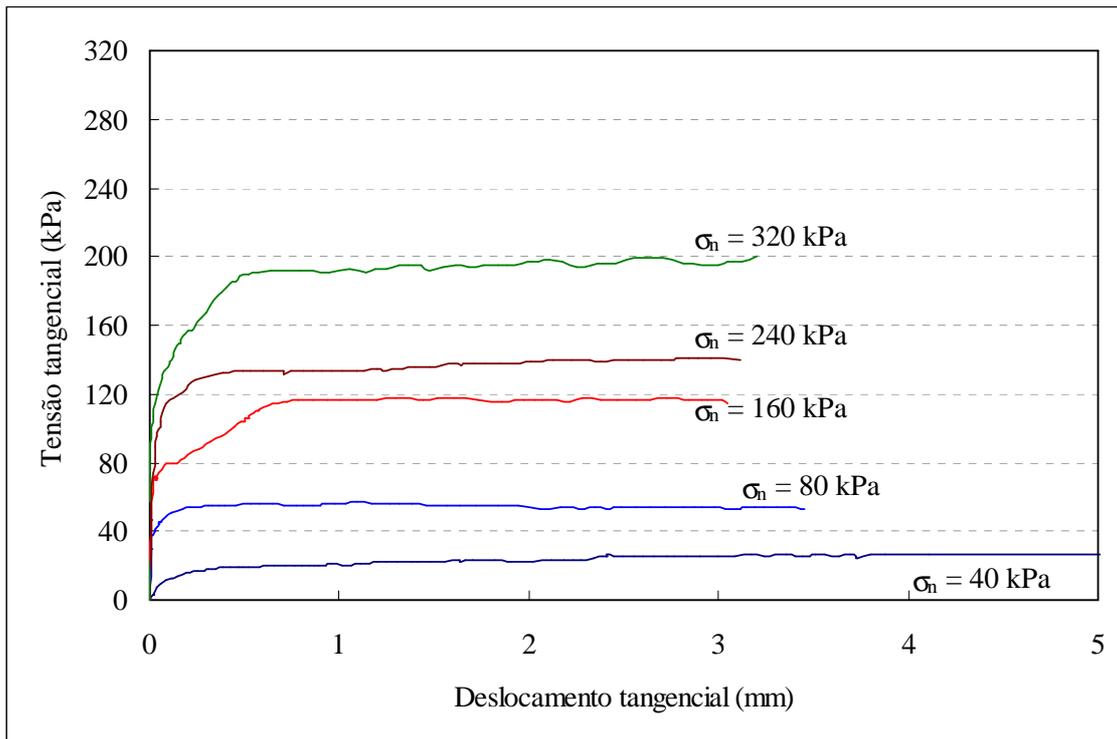


Figura B25 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 68

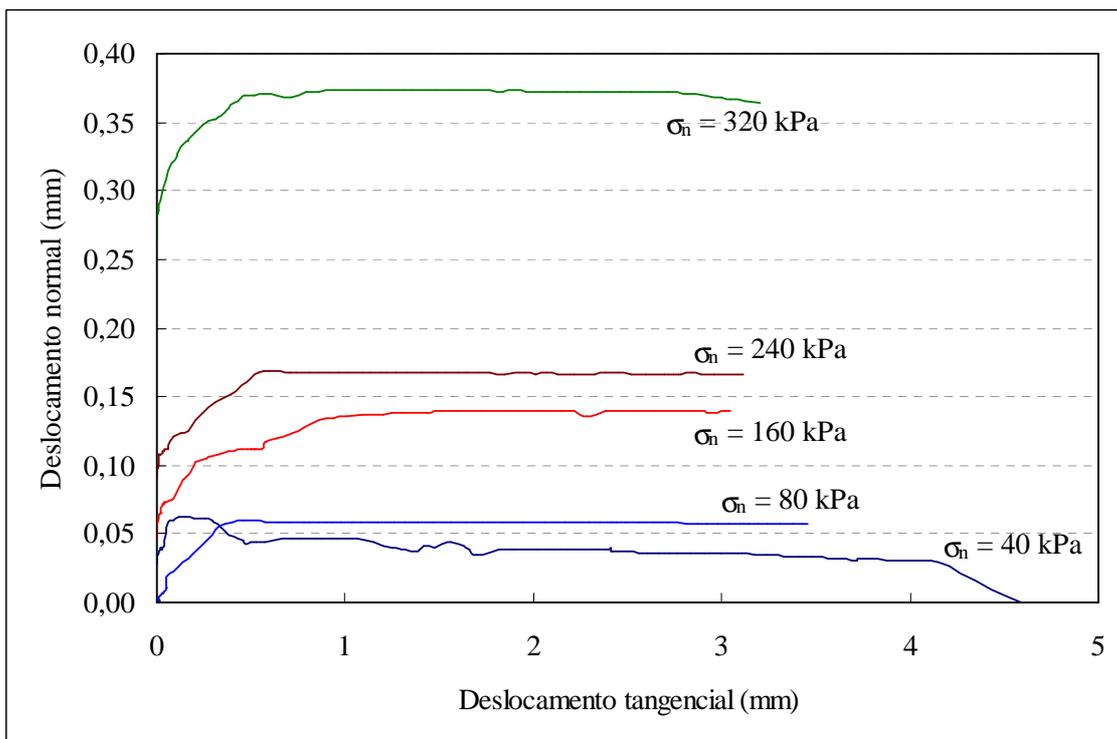


Figura B26 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 68

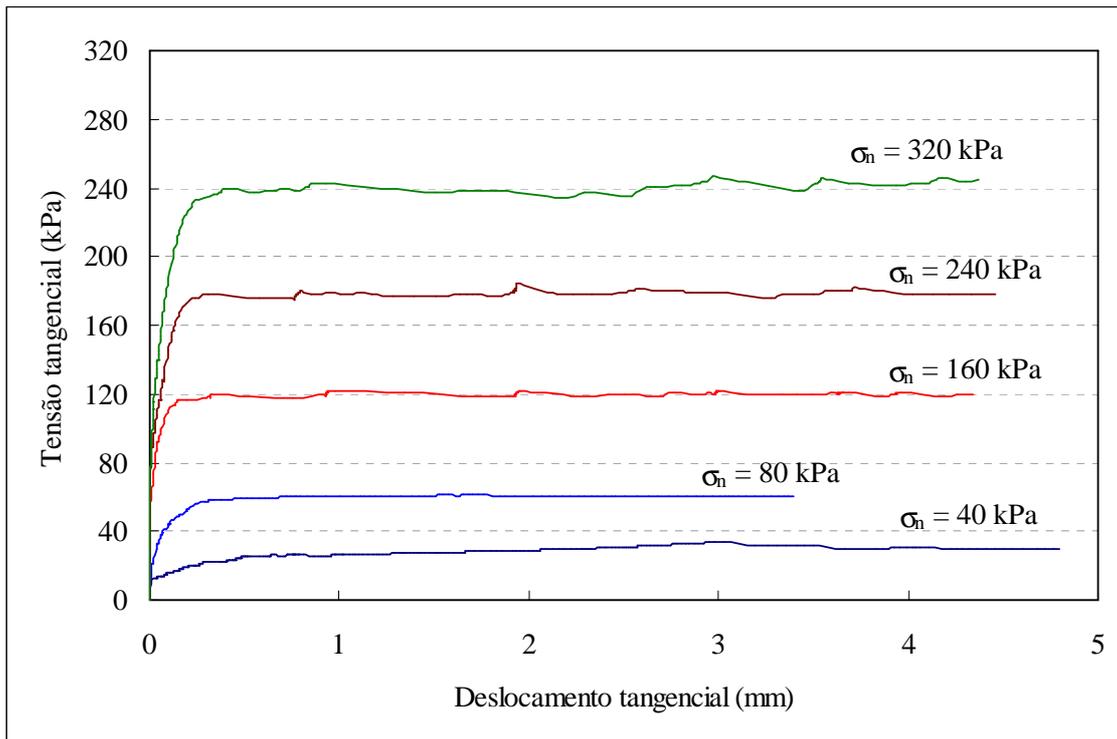


Figura B27 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 69

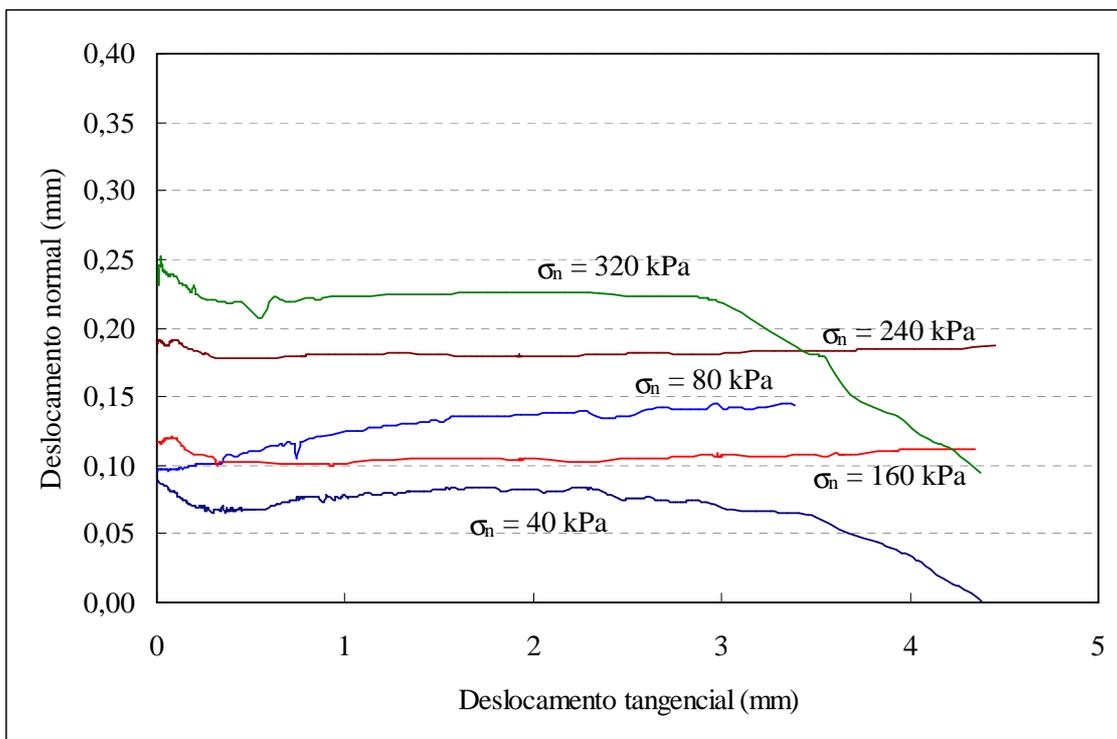


Figura B28 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 69

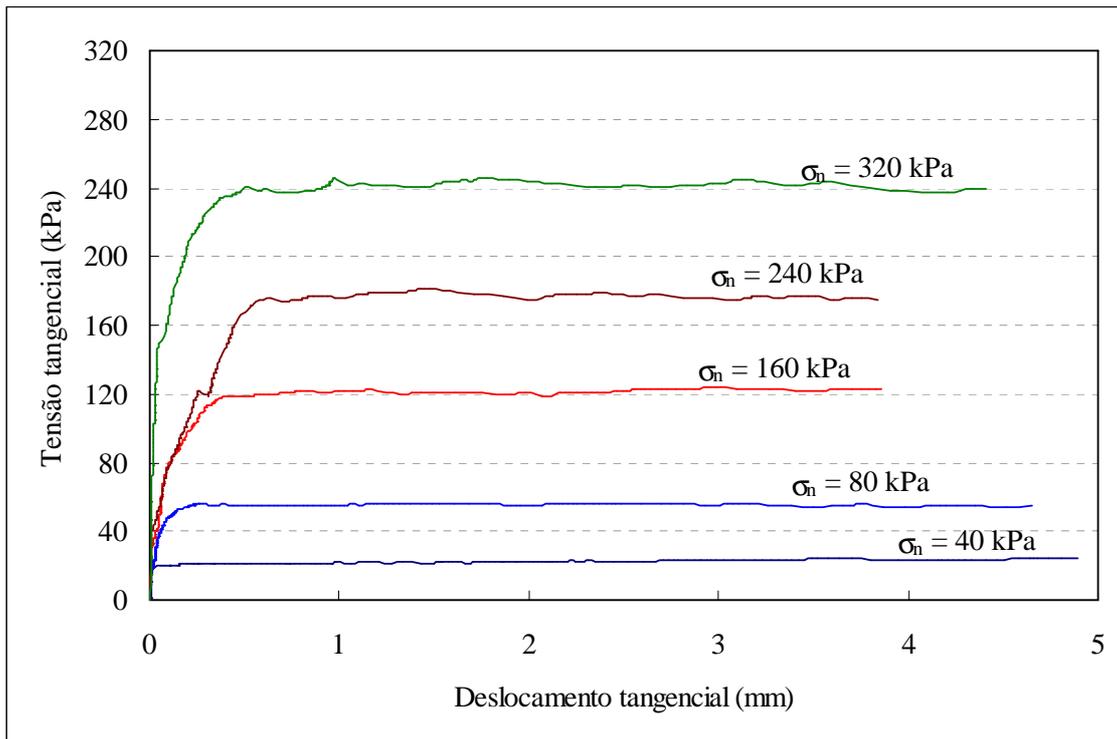


Figura B29 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 70

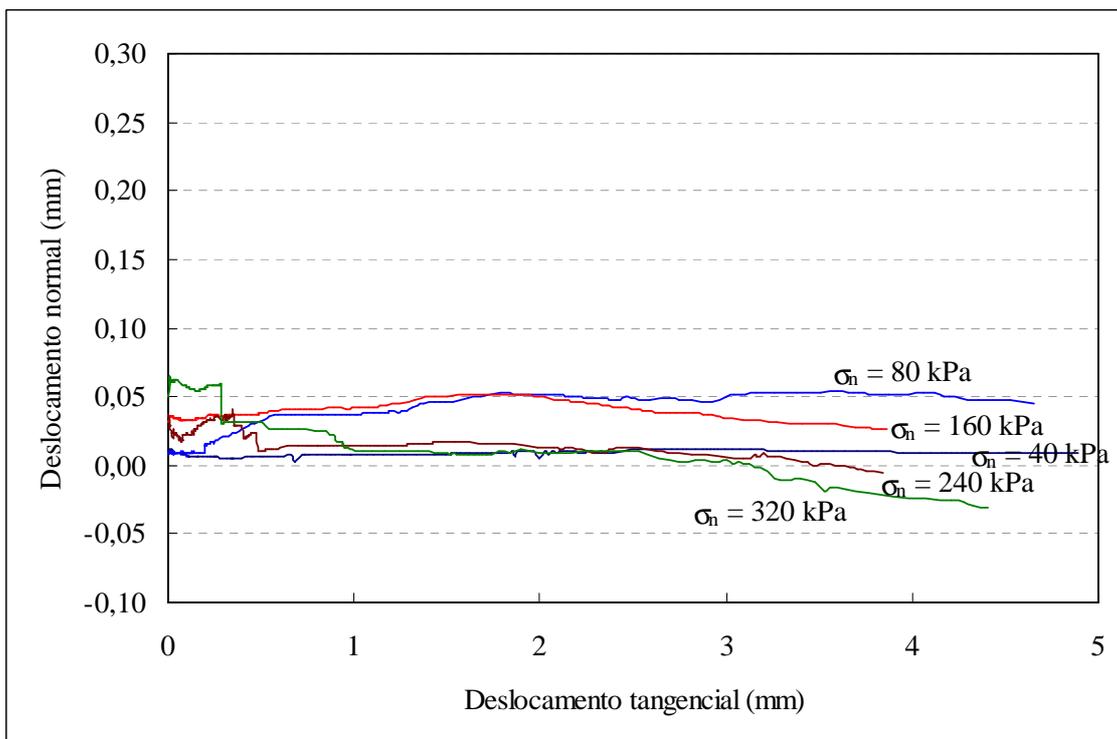


Figura B30 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 70

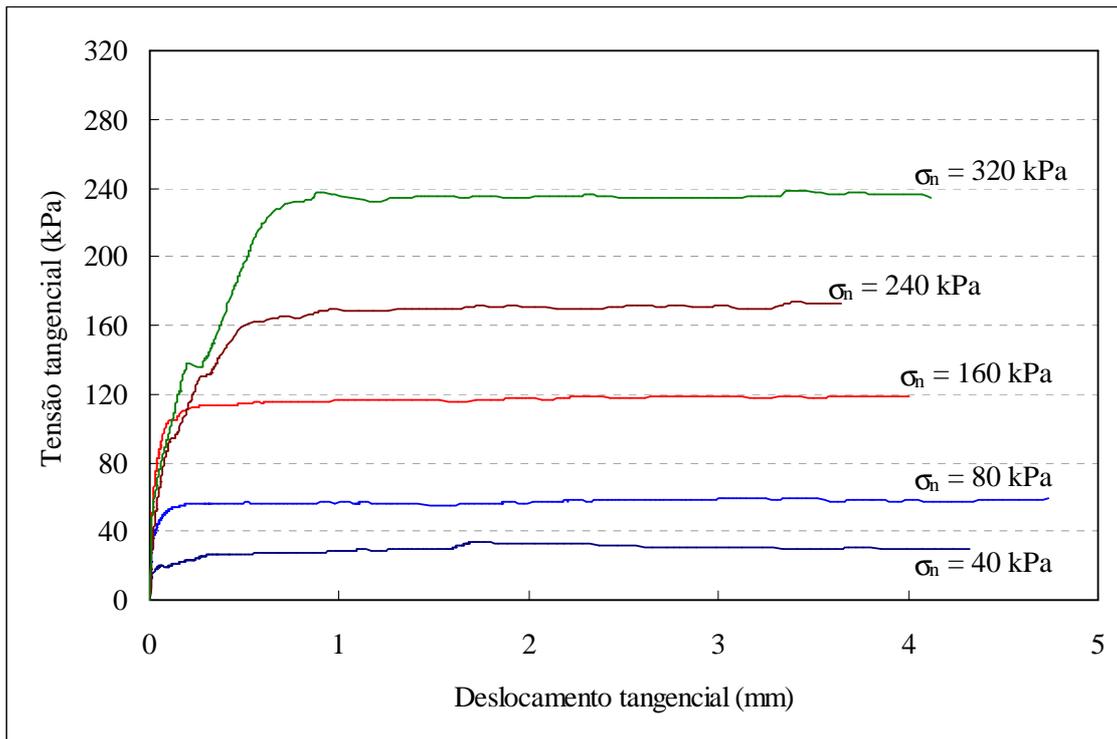


Figura B31 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 71

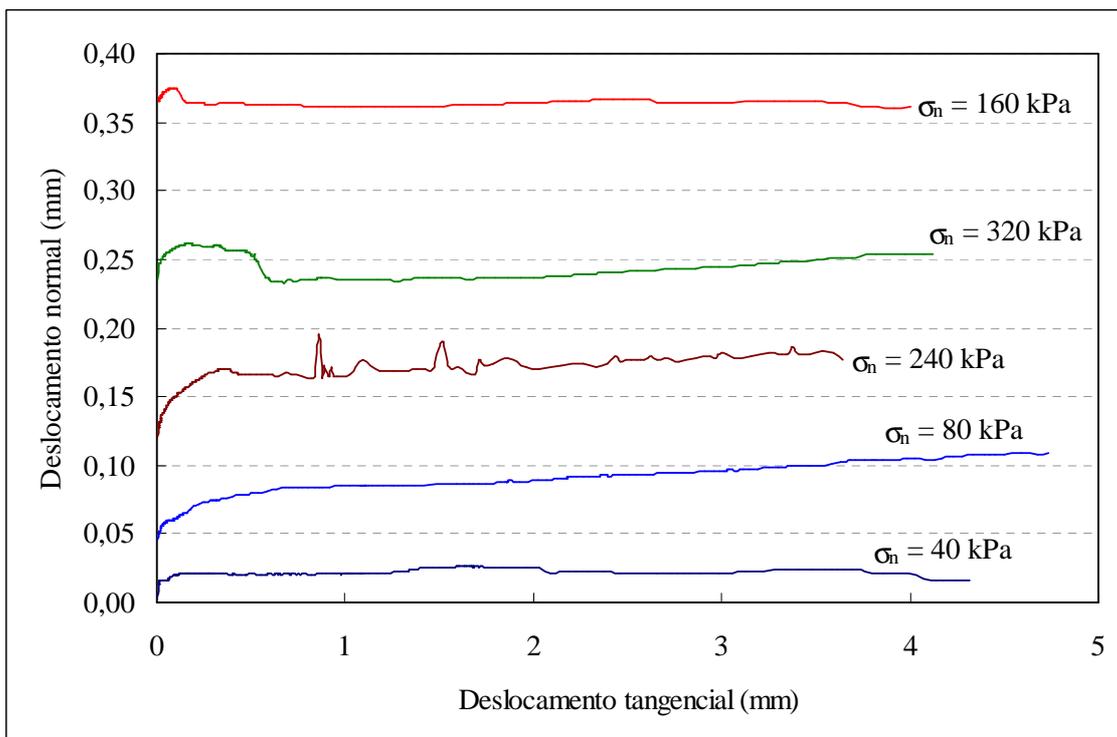


Figura B32 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 71

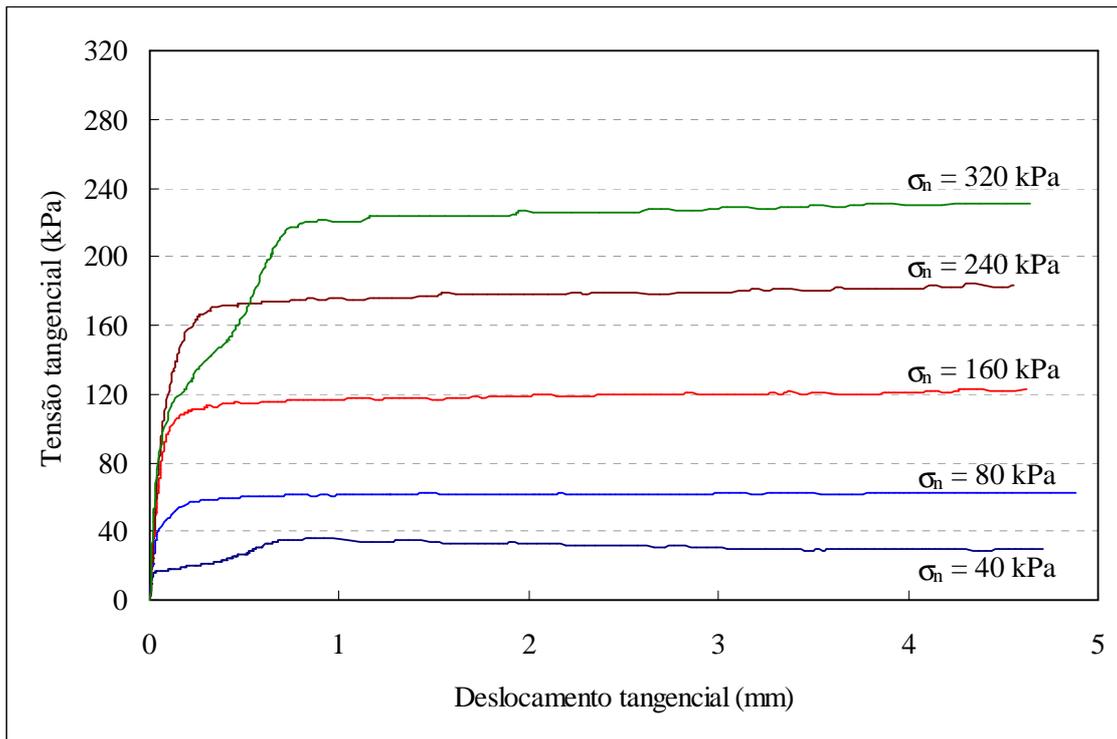


Figura B33 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 72

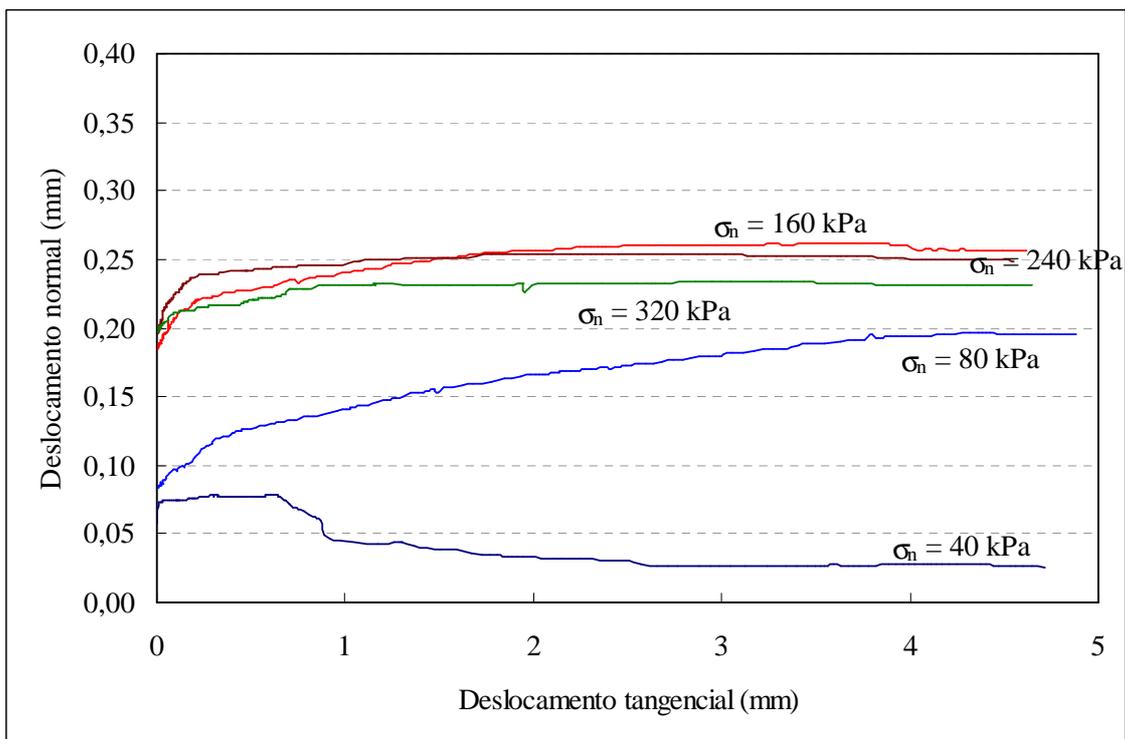


Figura B34 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 72

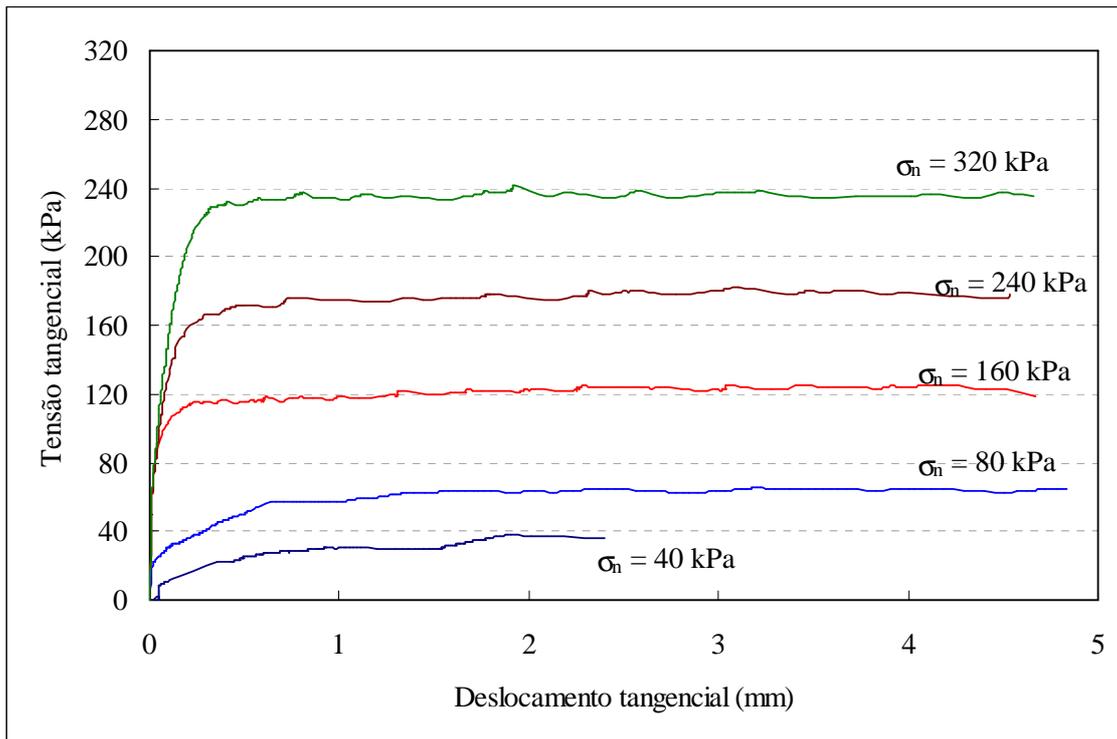


Figura B35 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 73

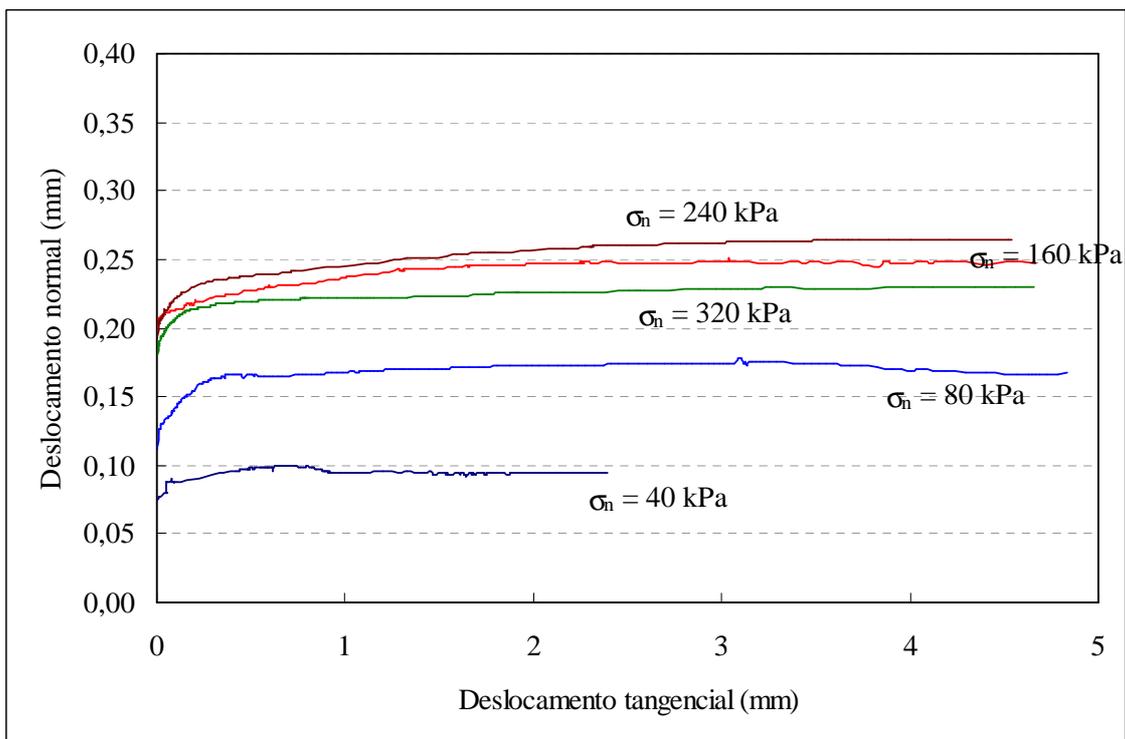


Figura B36 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 73

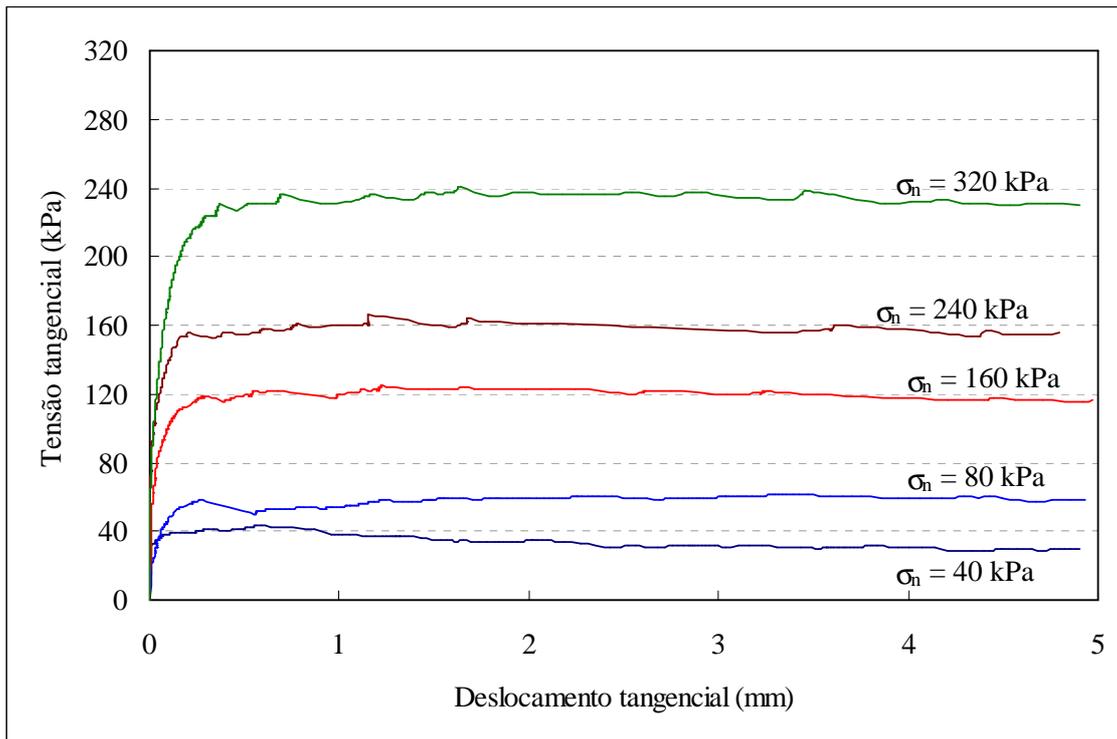


Figura B37 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 74

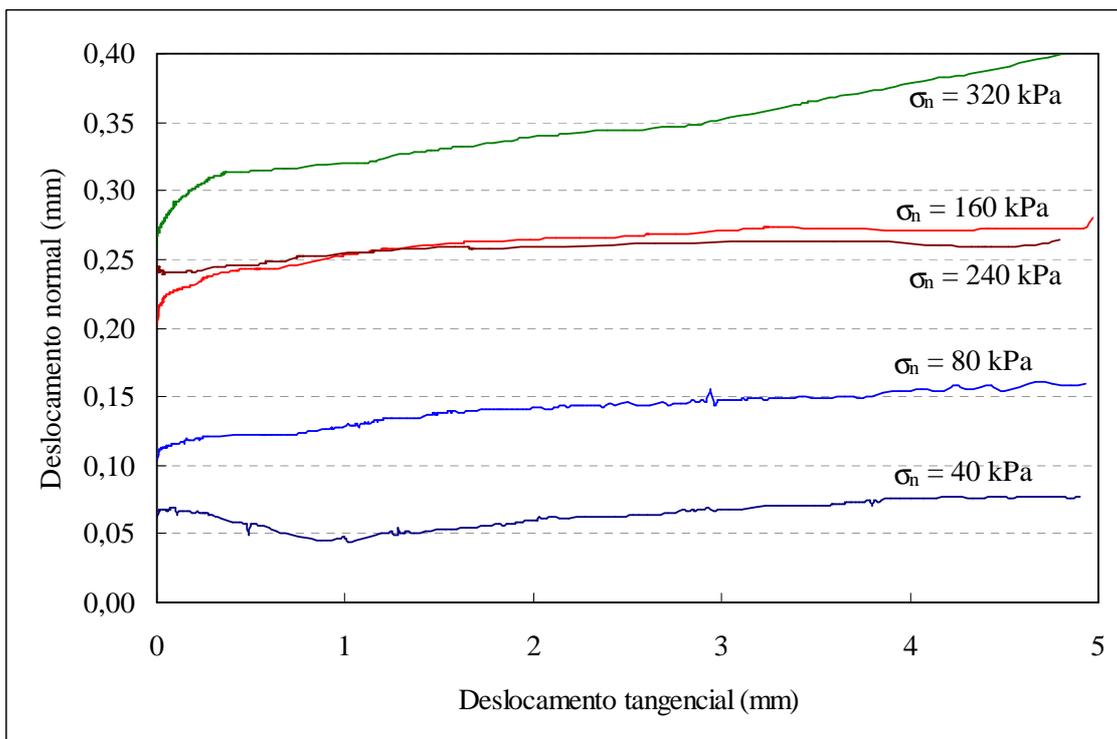


Figura B38 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 74

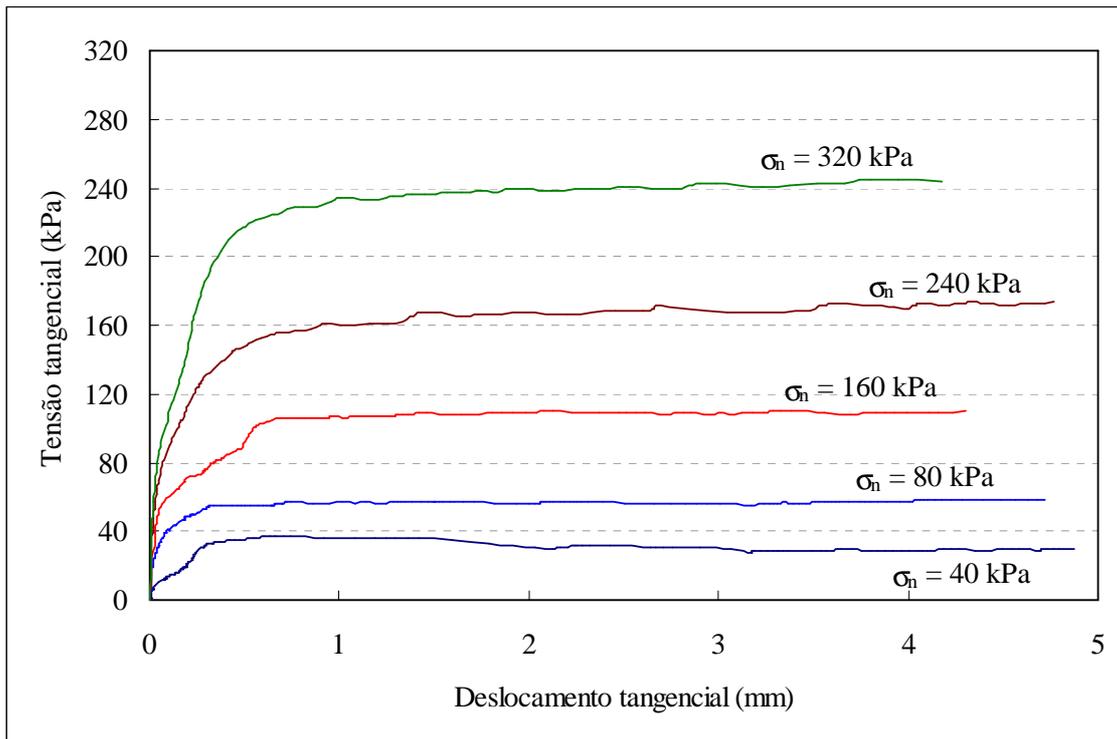


Figura B39 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 75

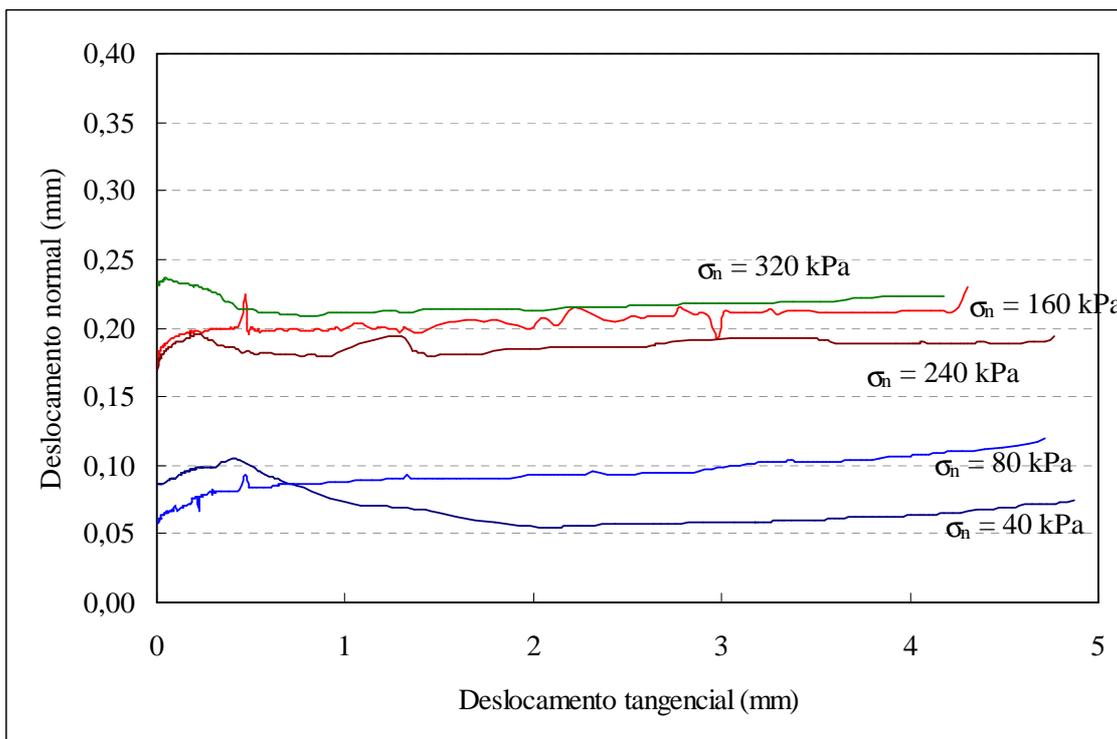


Figura B40 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 75

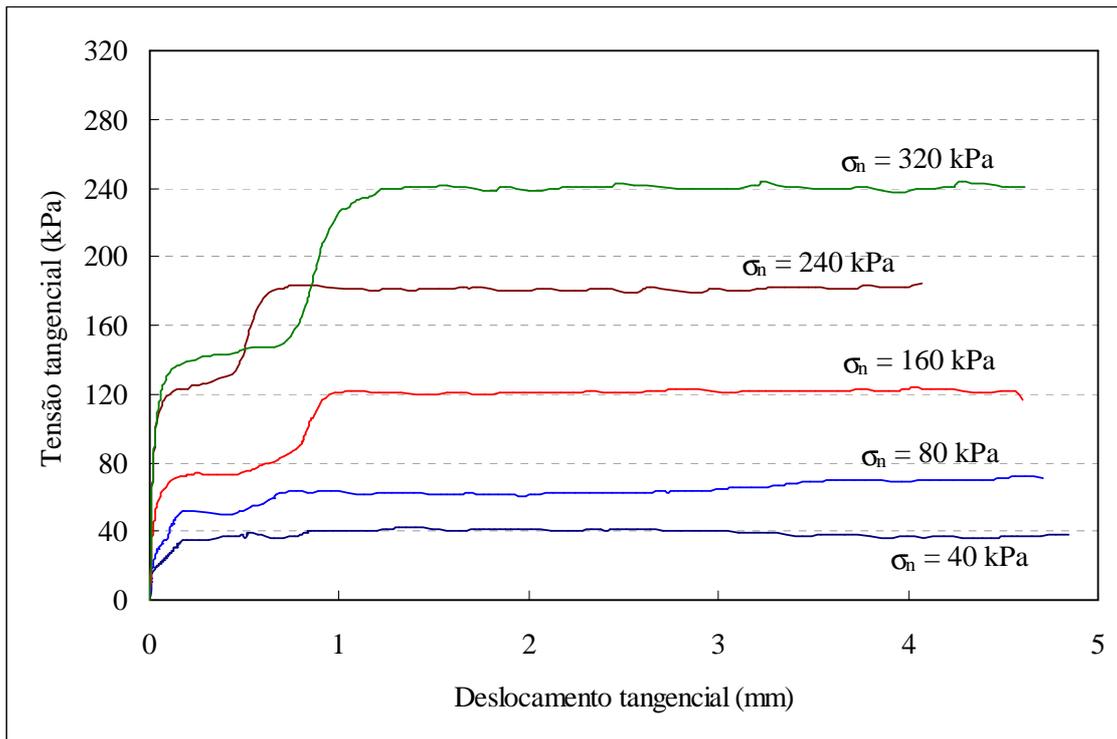


Figura B41 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 76

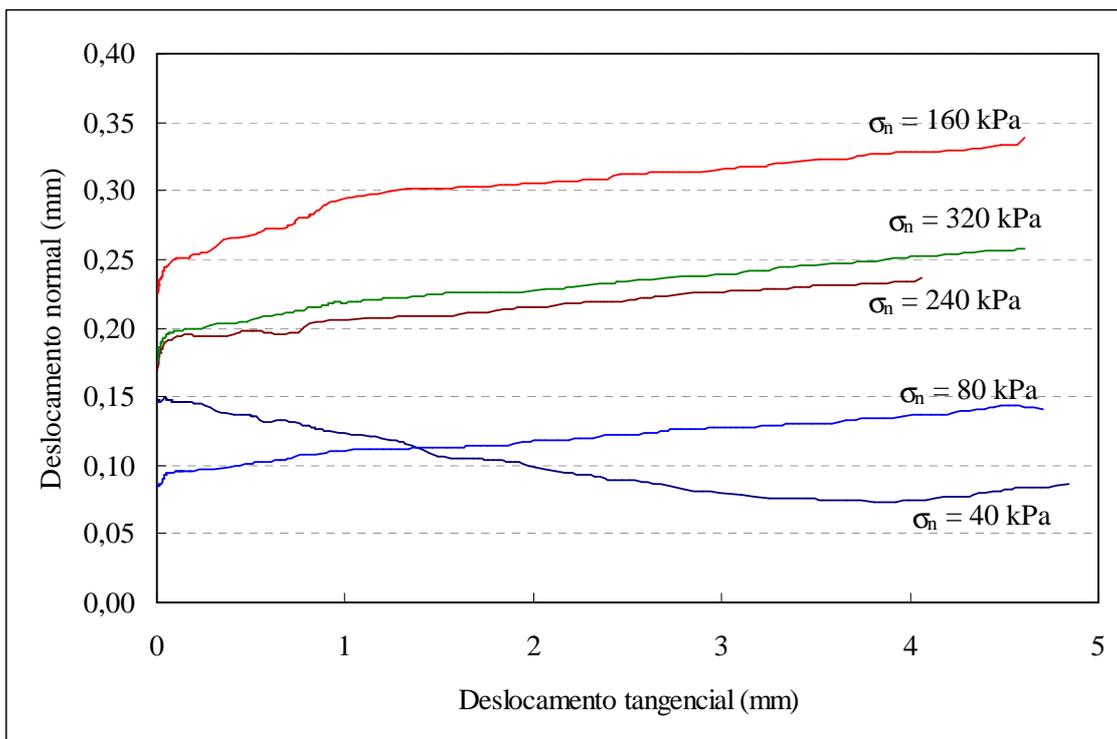


Figura B42 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 76

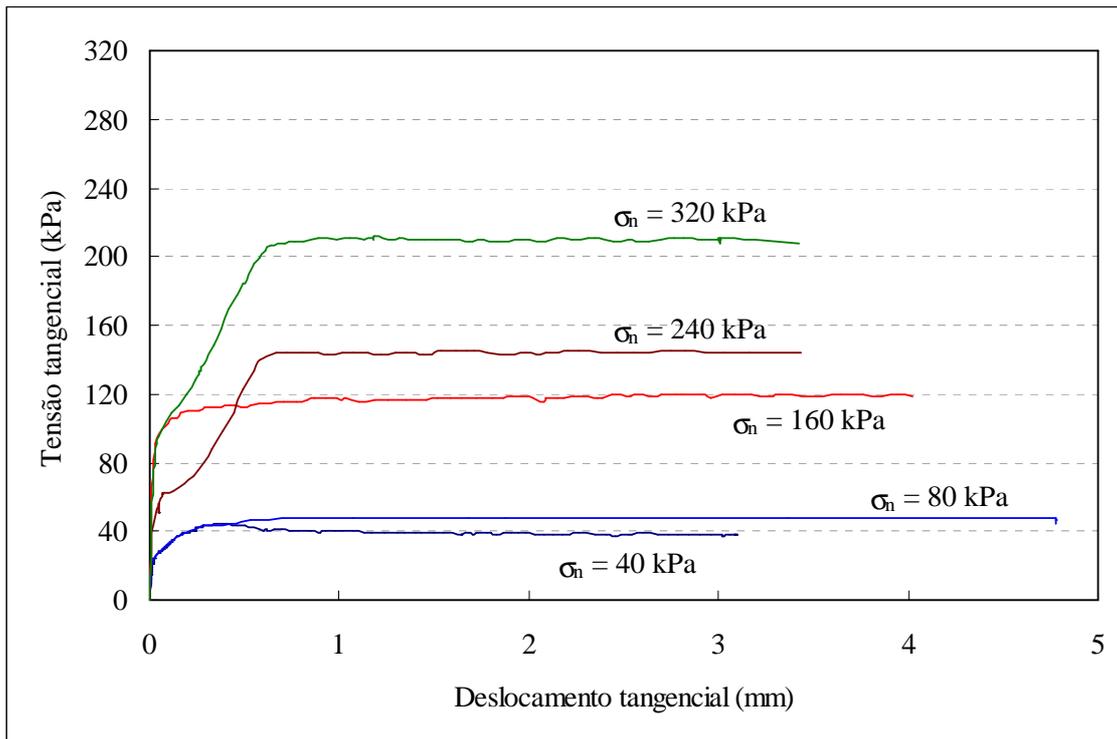


Figura B43 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 77

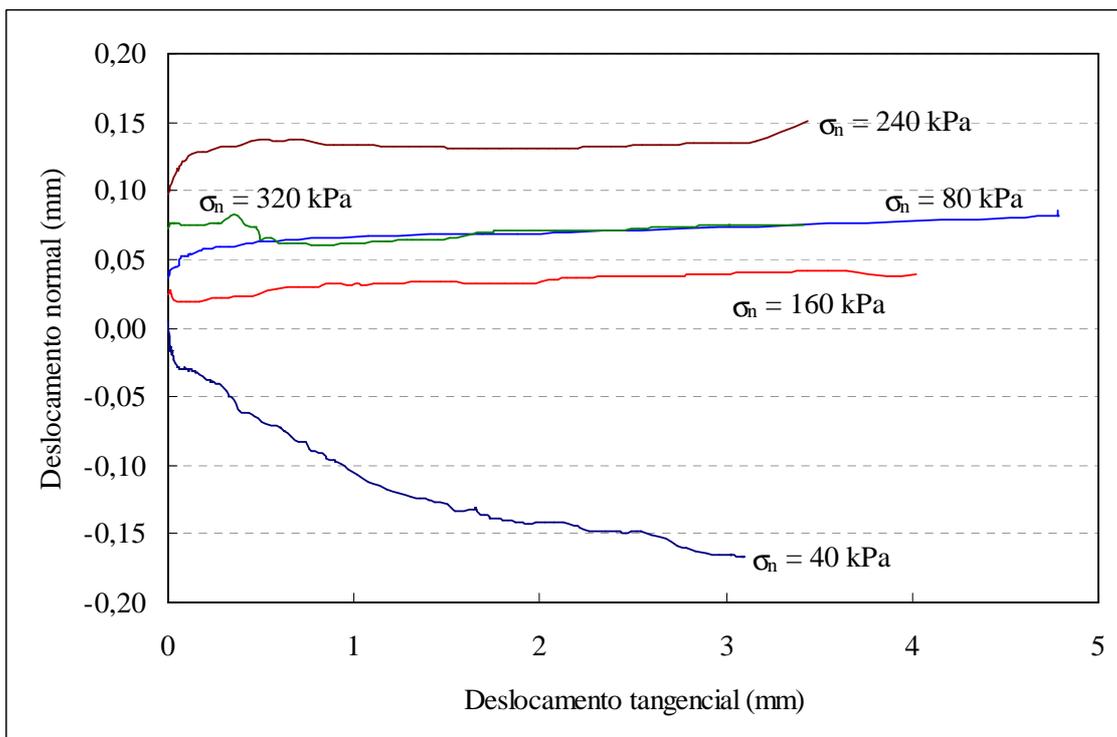


Figura B44 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 77

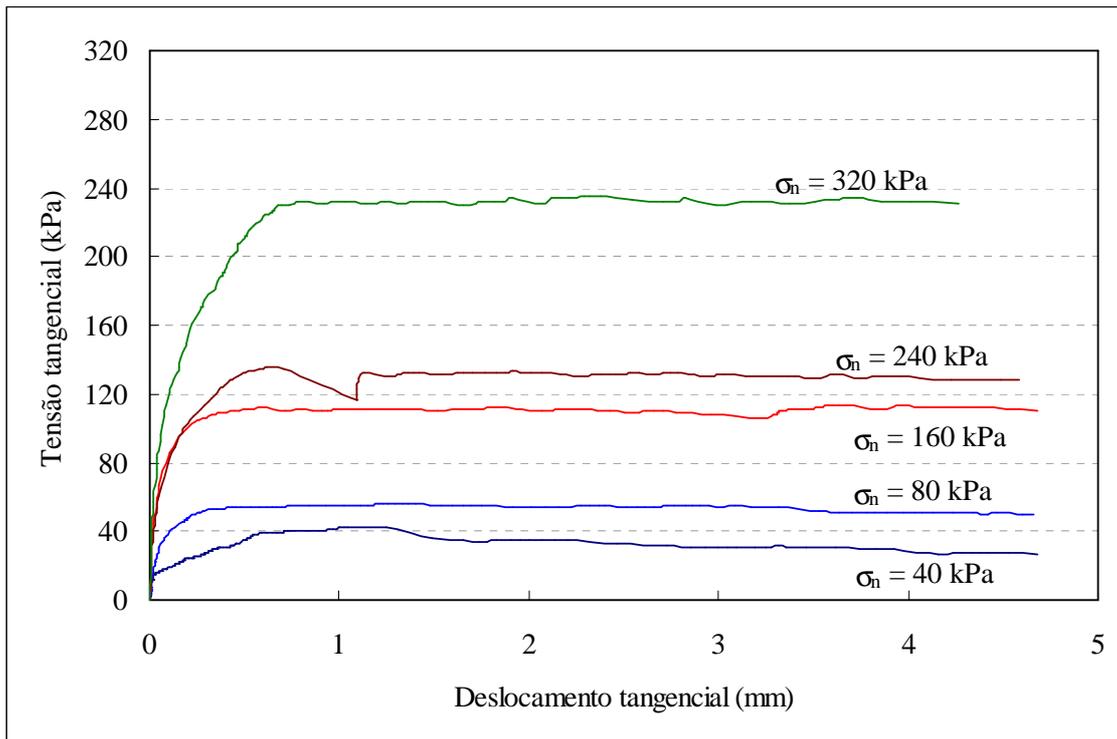


Figura B45 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 78

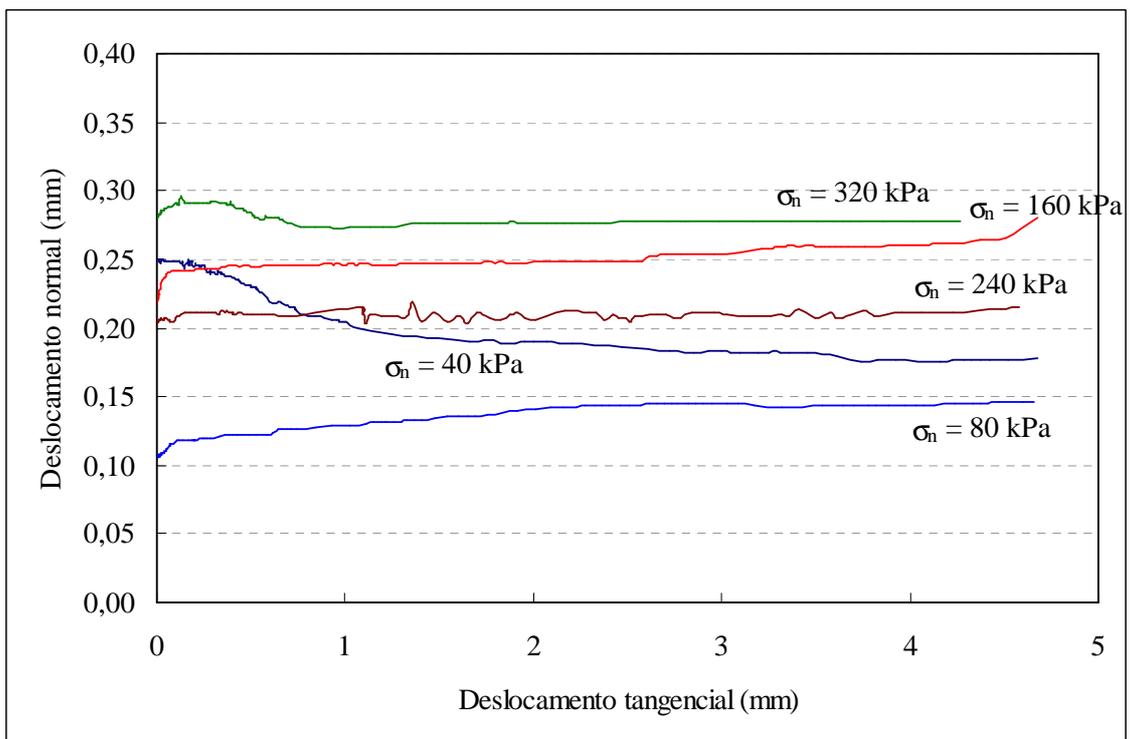


Figura B46 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 78

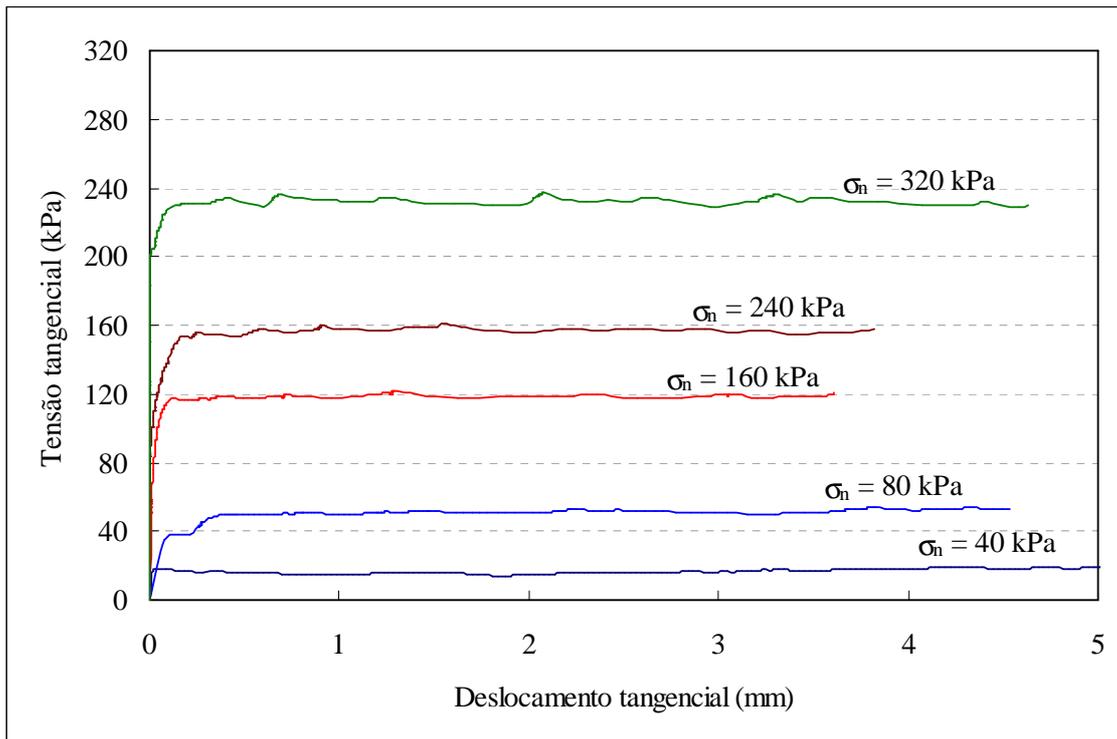


Figura B47 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 79

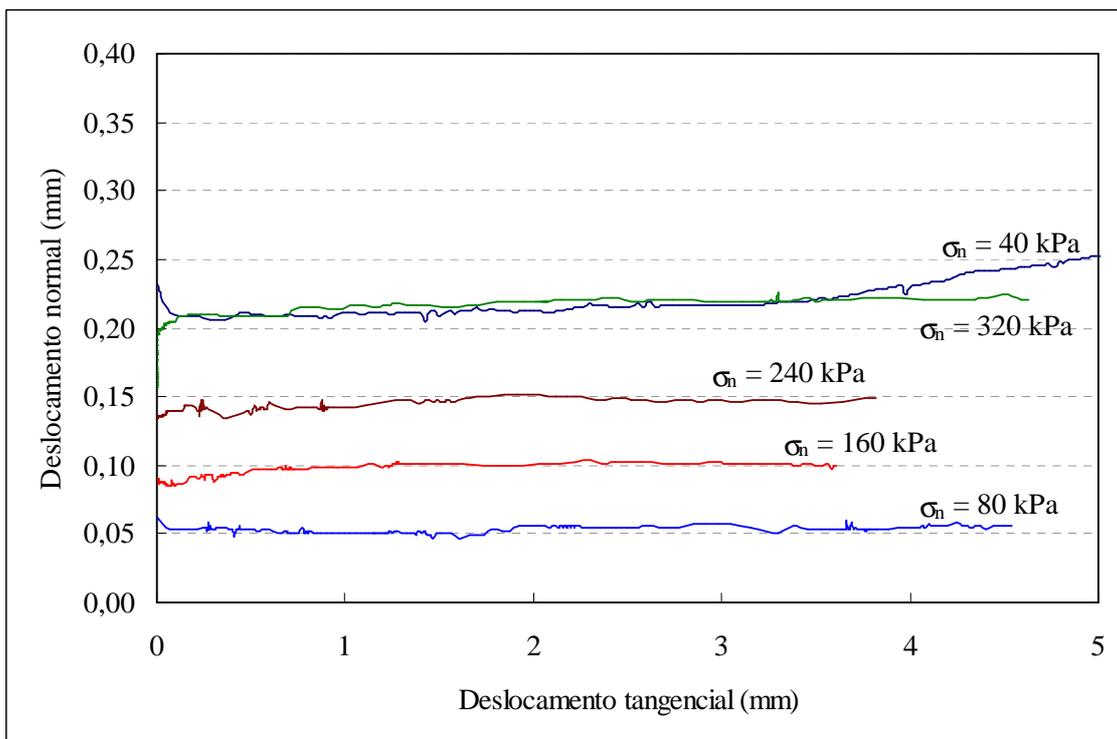


Figura B48 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 79

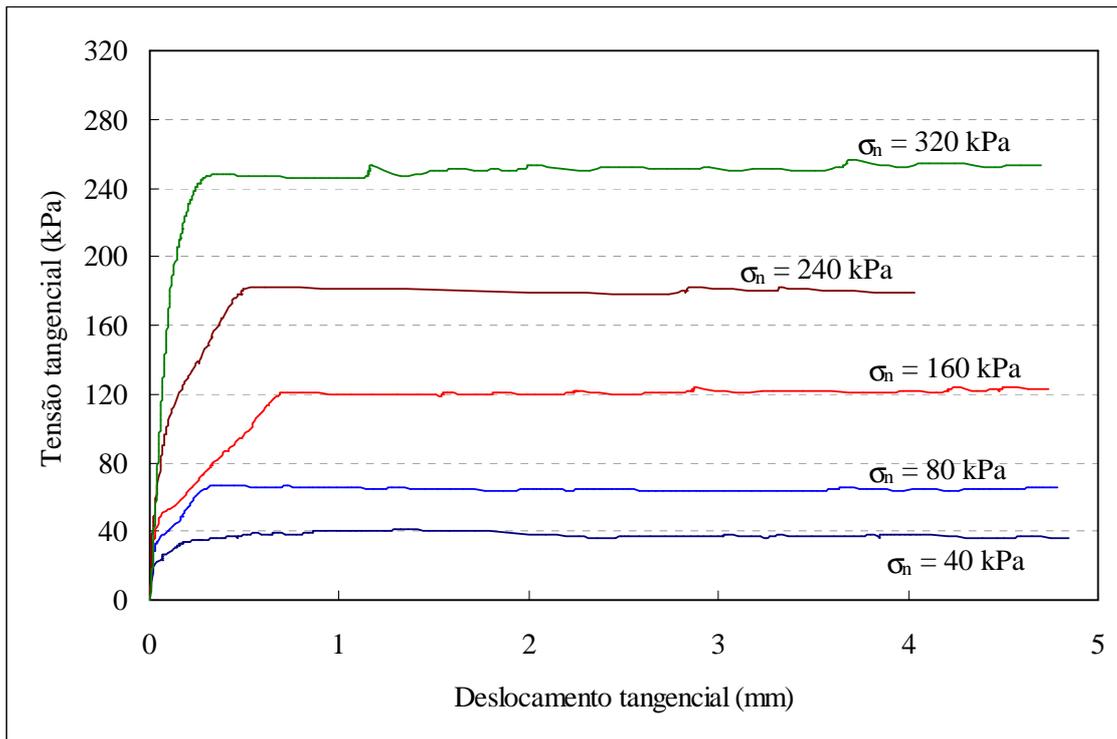


Figura B49 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 80

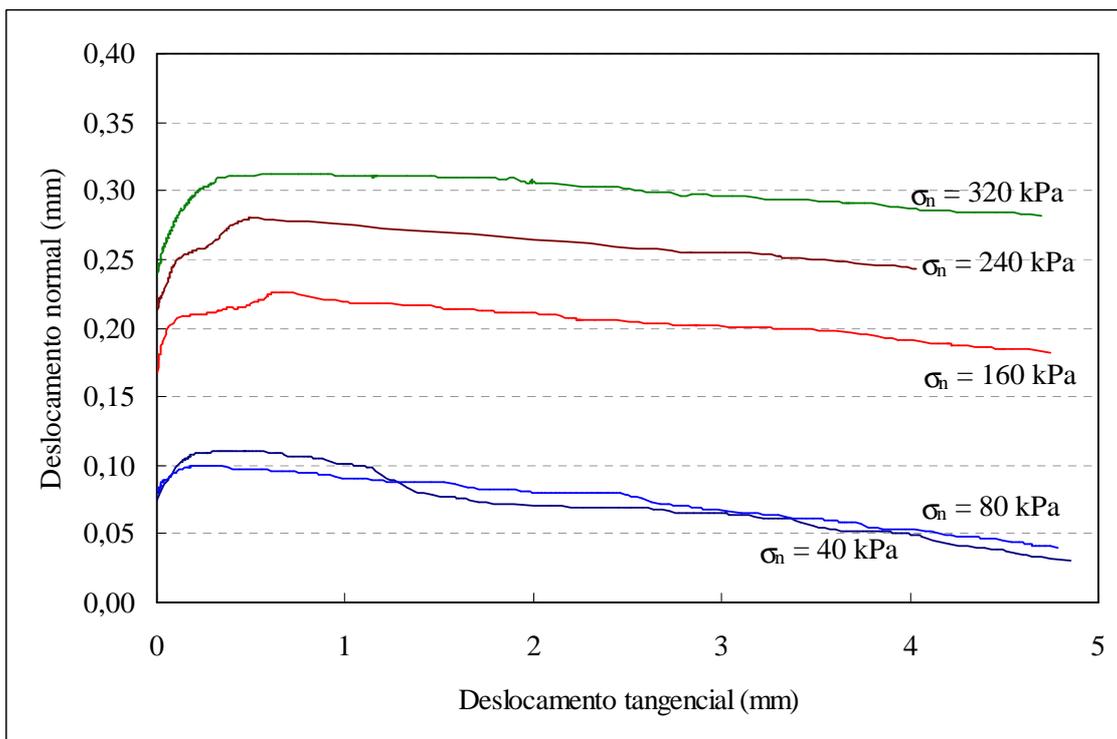


Figura B50 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 80

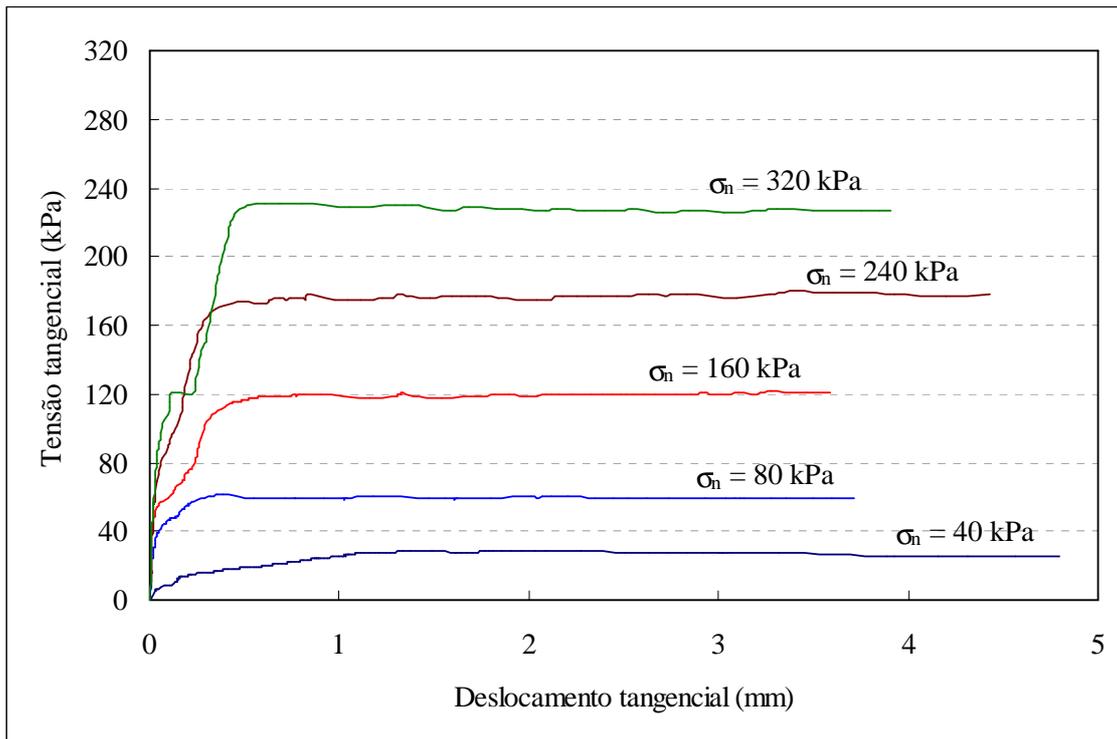


Figura B51 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 81

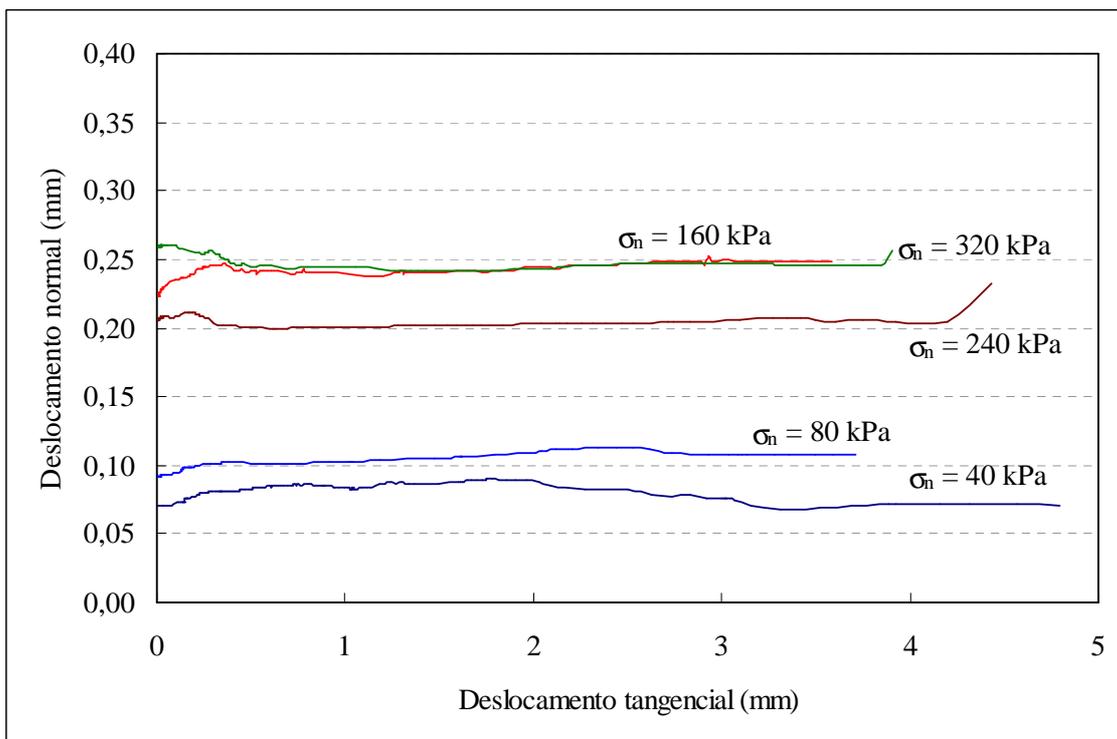


Figura B52 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 81

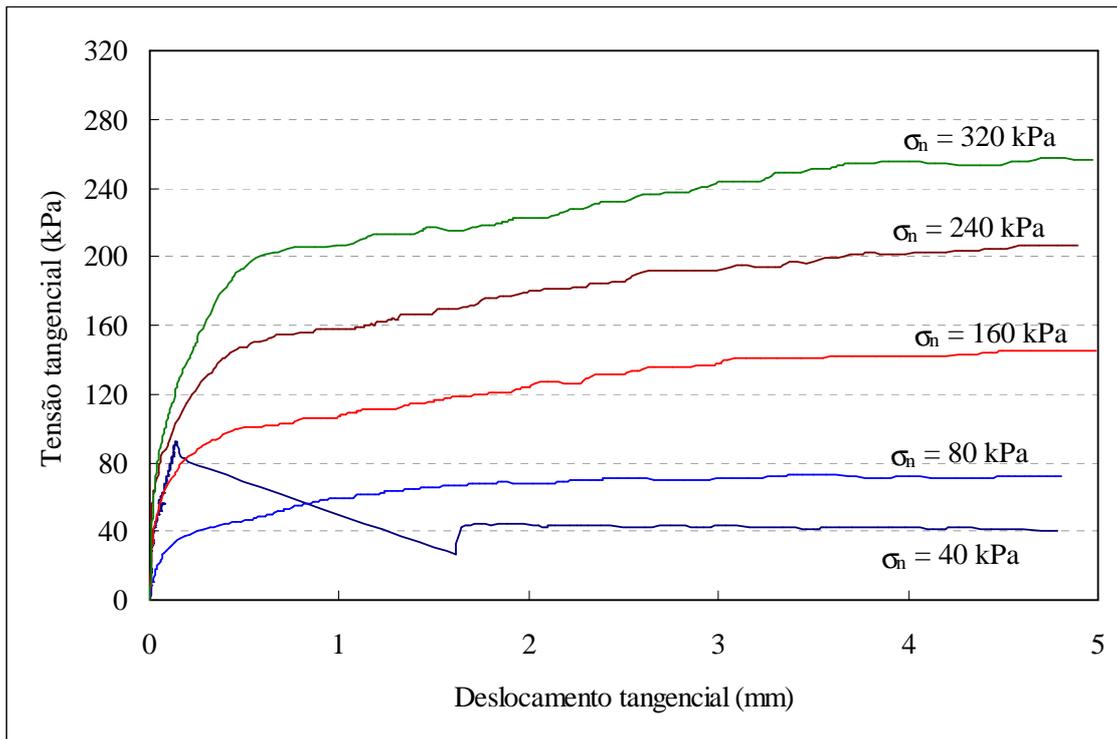


Figura B53 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 82

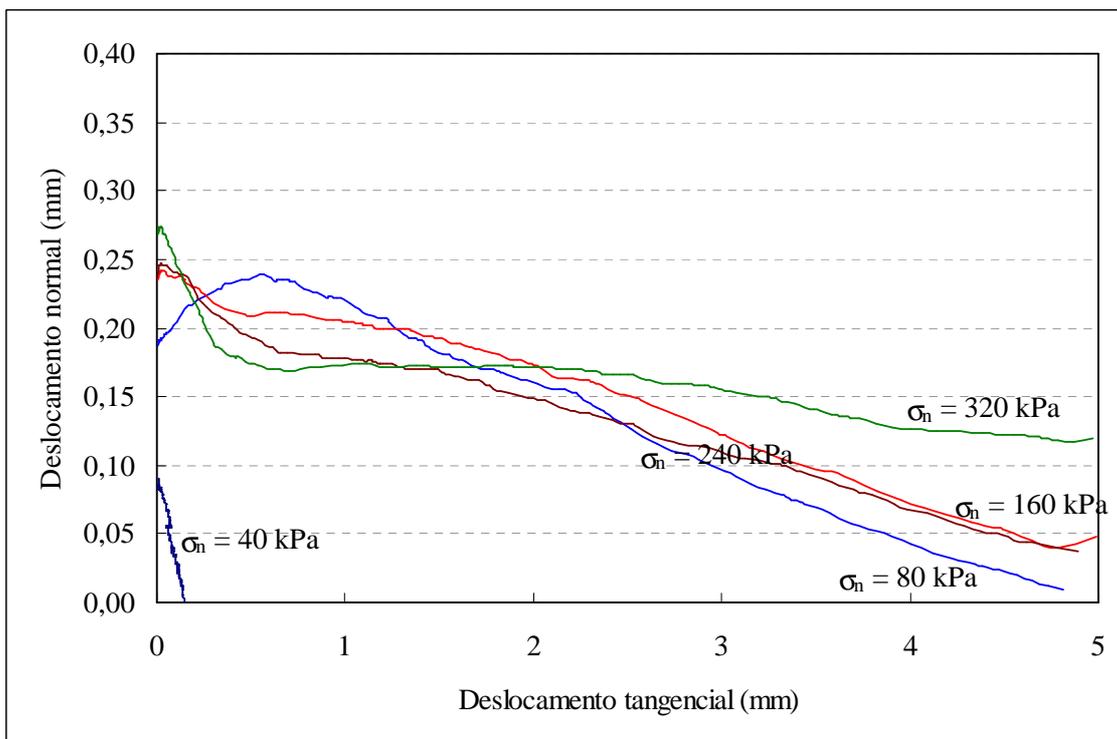


Figura B54 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 82

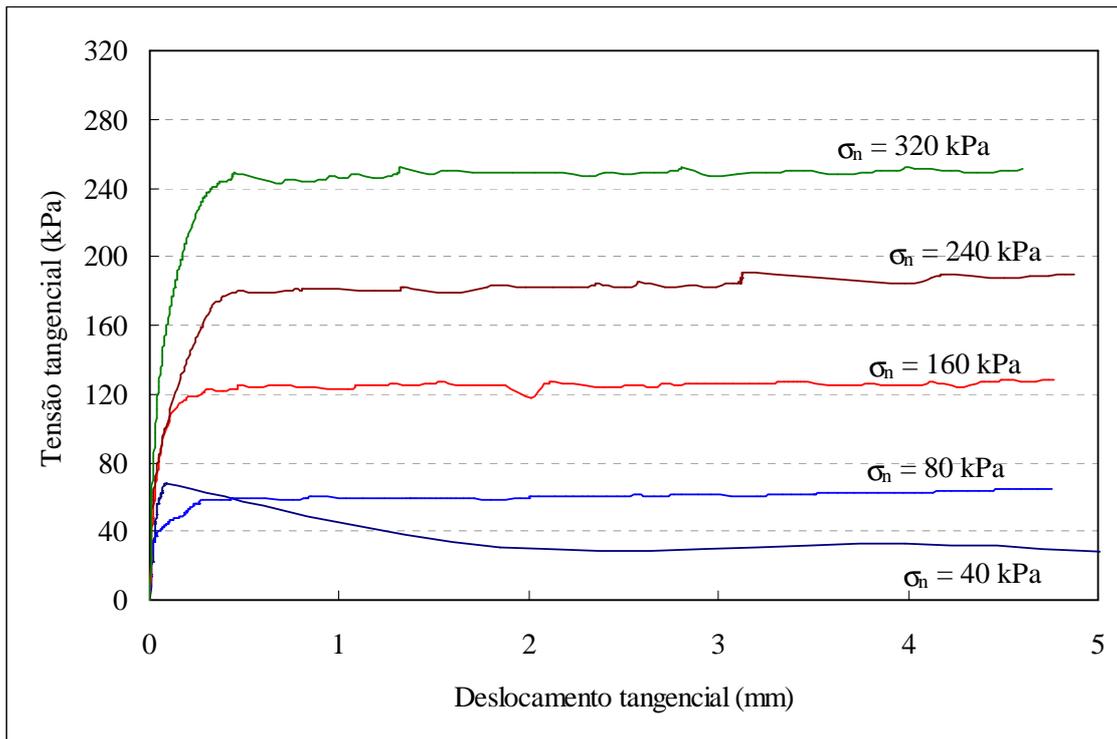


Figura B55 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 83

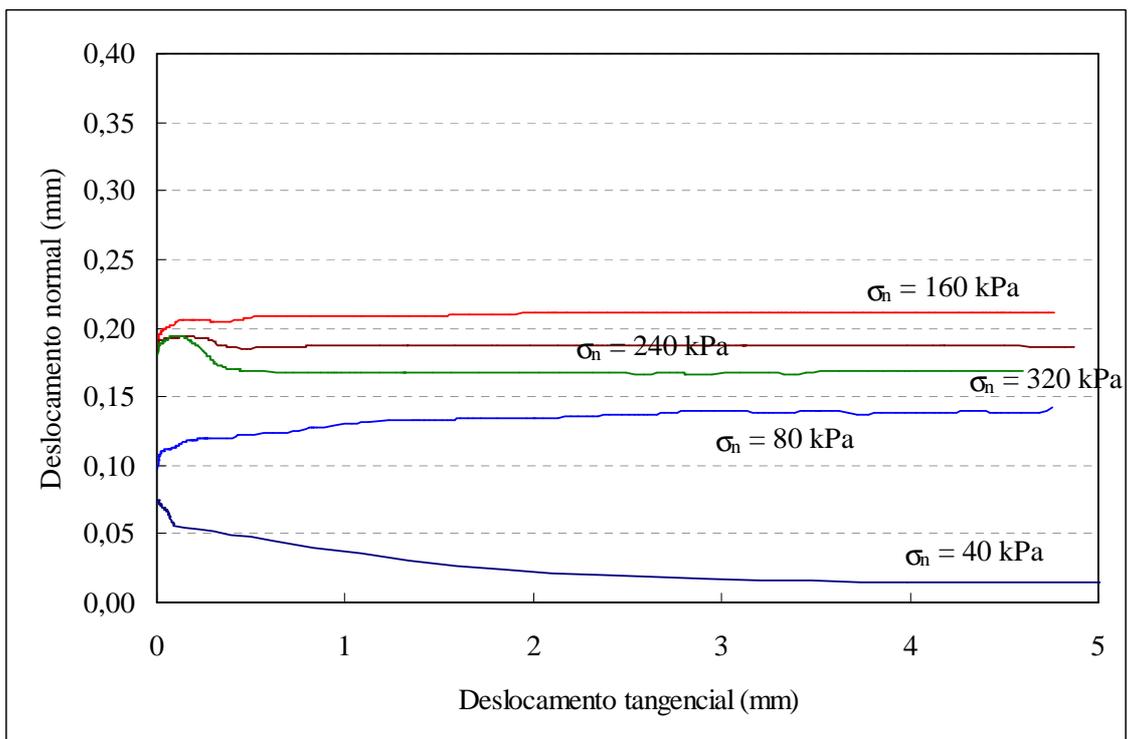


Figura B56 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 83

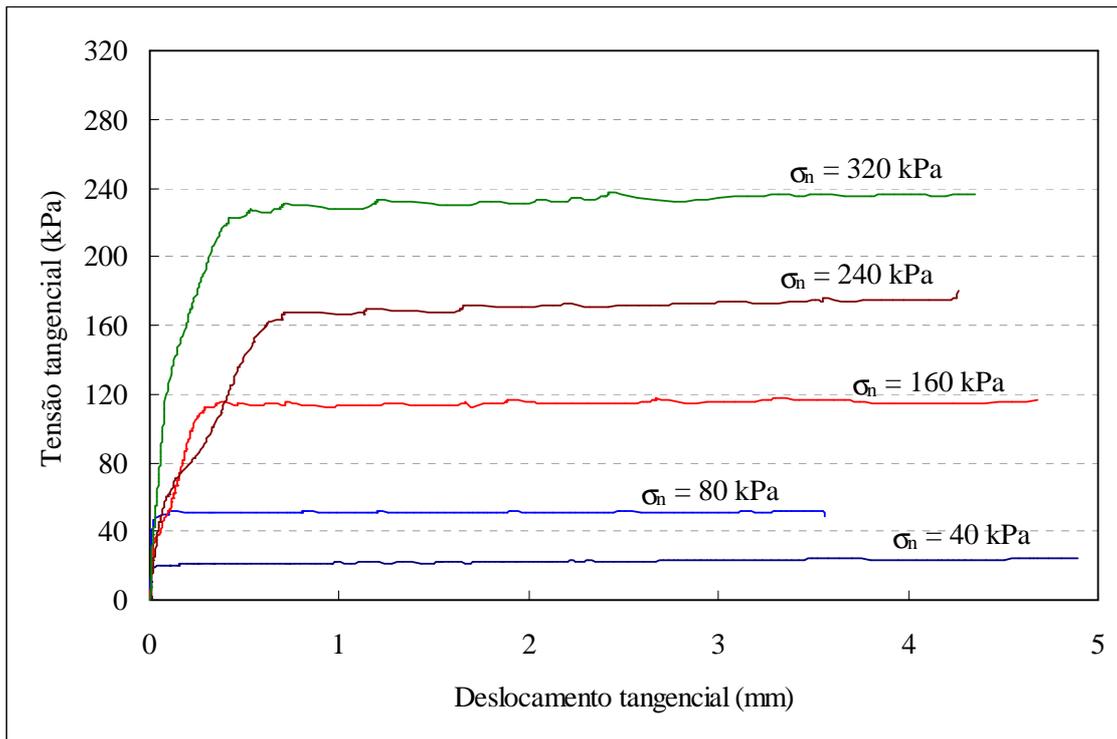


Figura B57 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 84

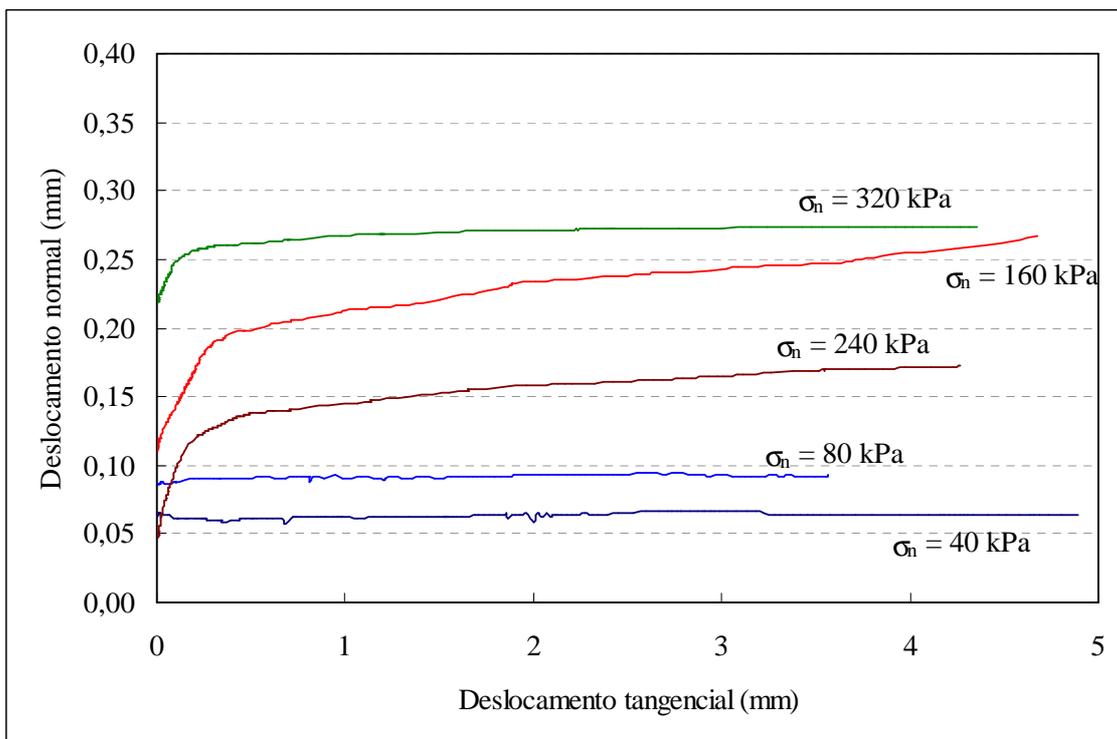


Figura B58 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 84

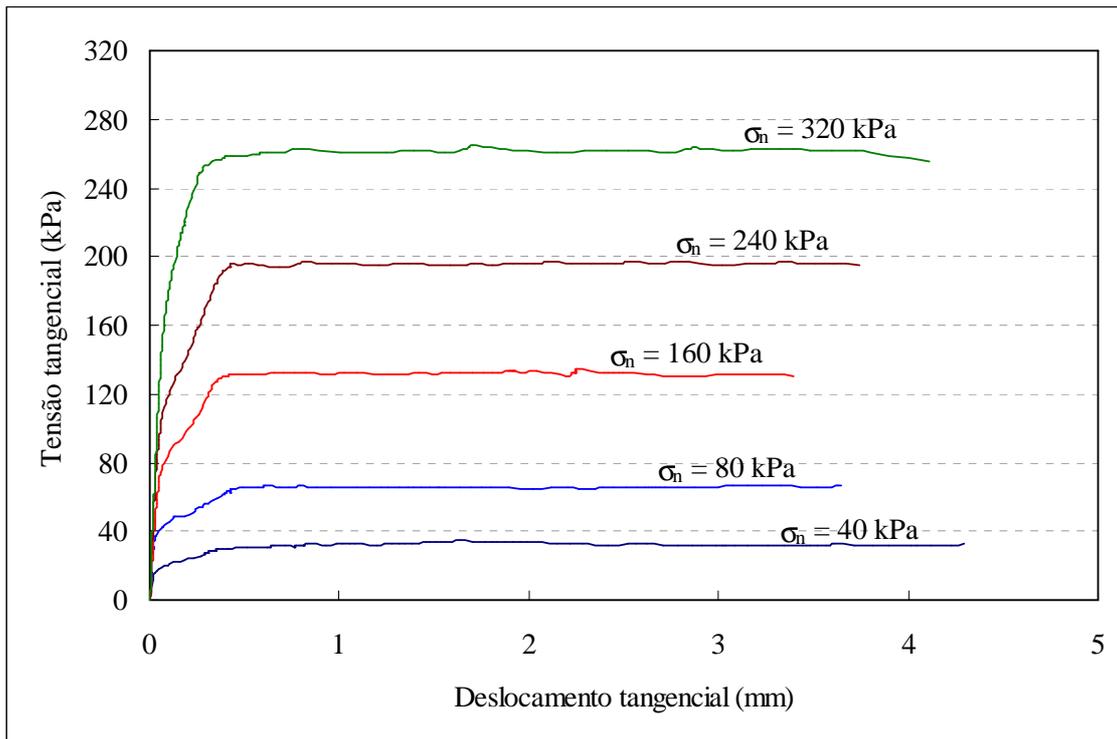


Figura B59 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 85

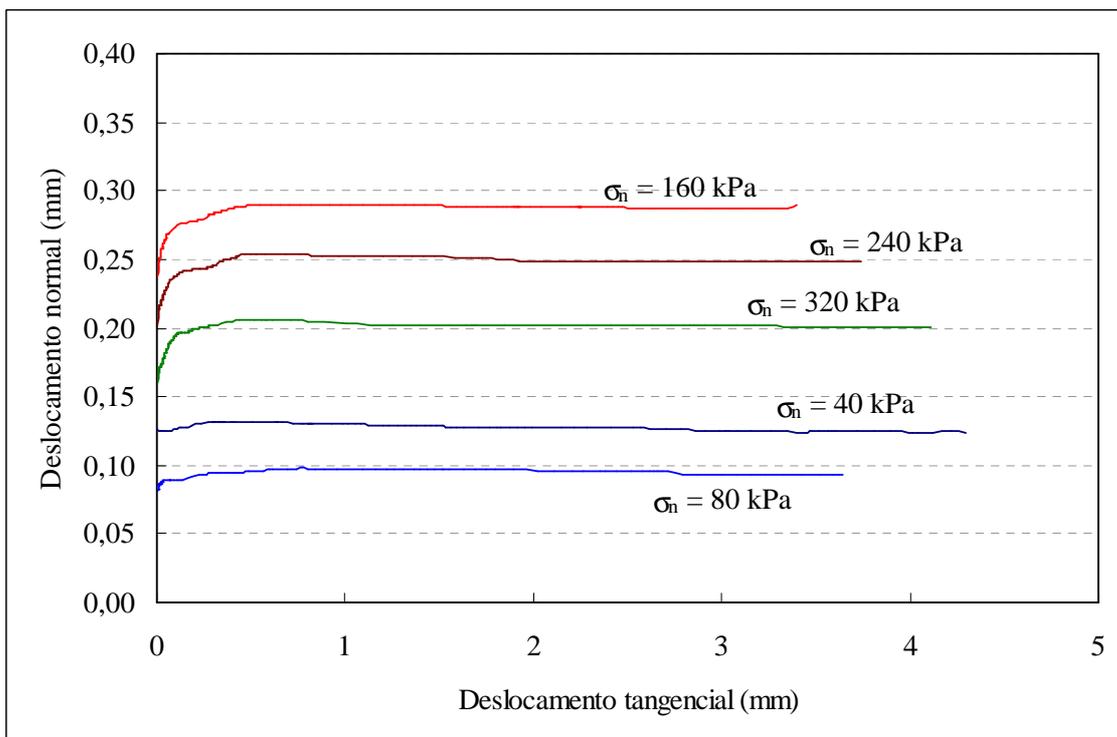


Figura B60 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 85

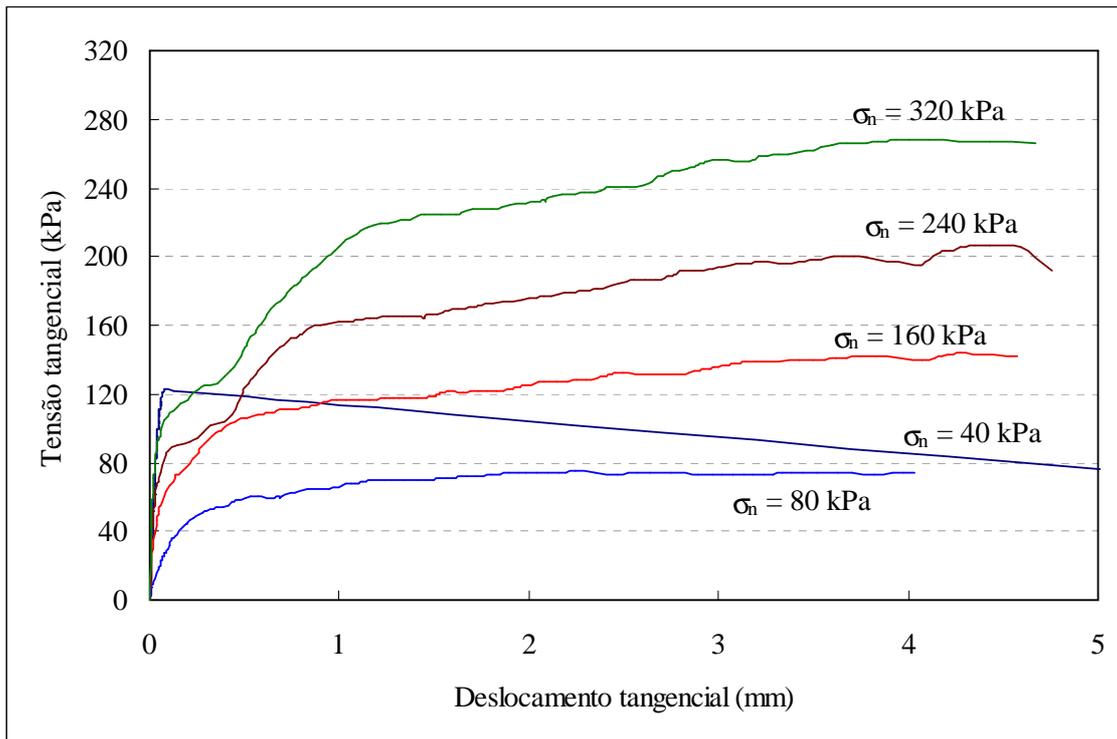


Figura B61 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 86

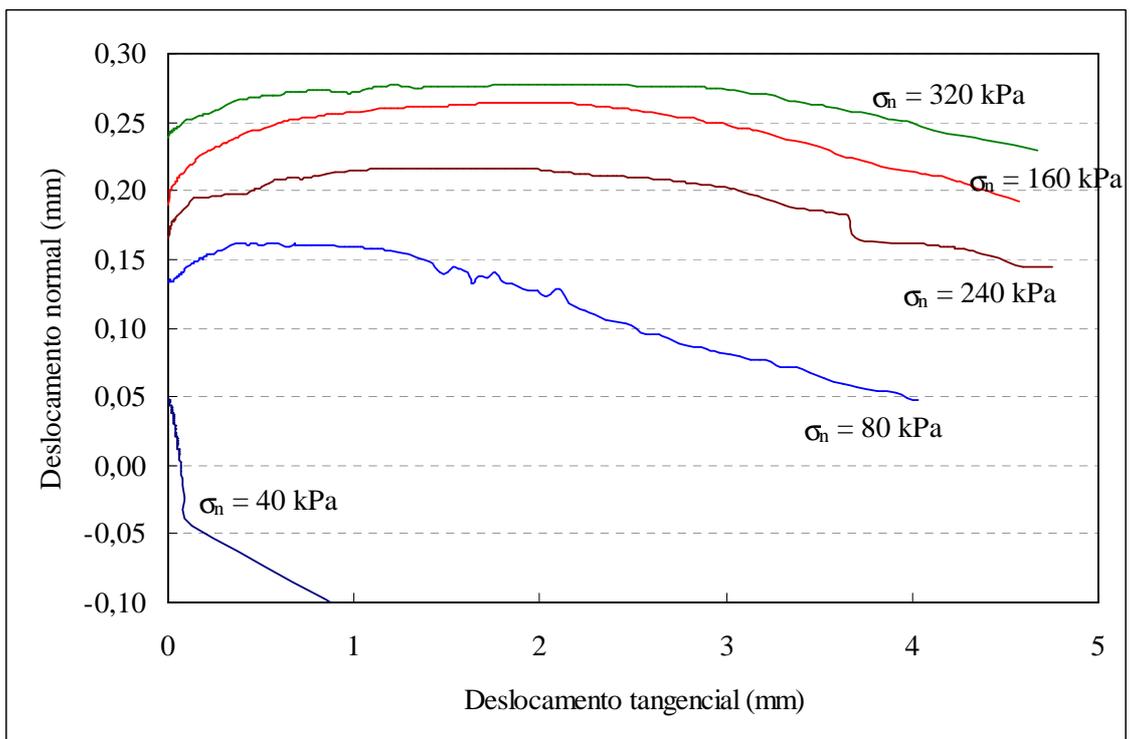


Figura B62 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 86

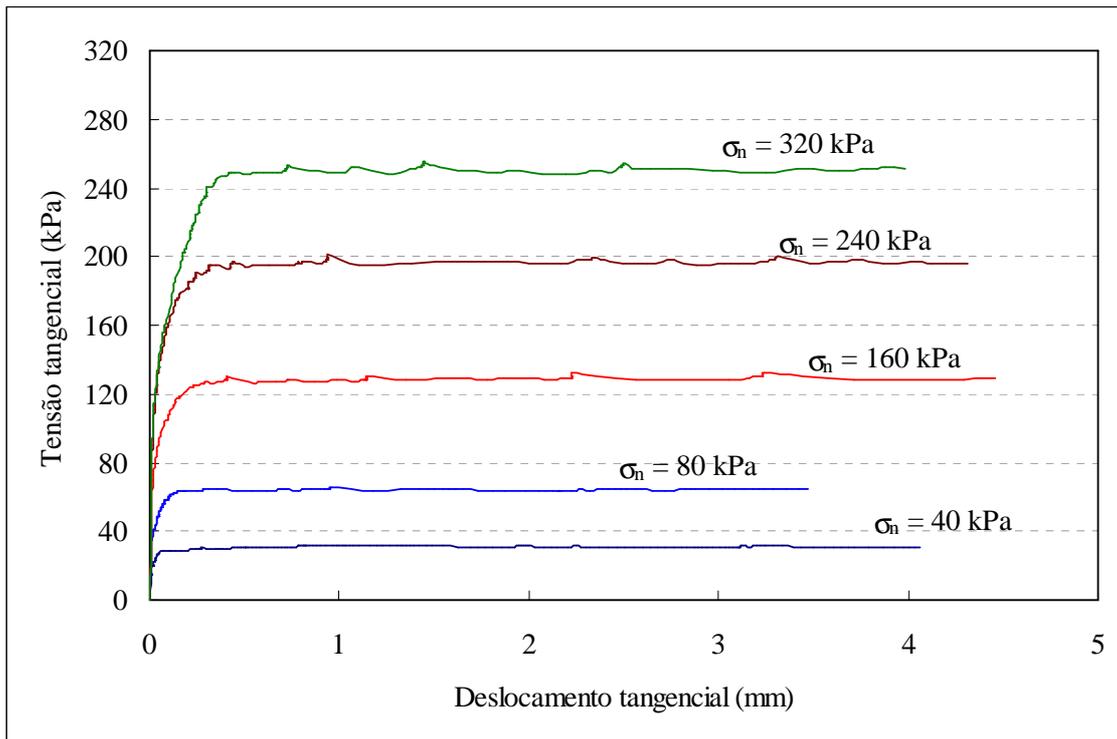


Figura B63 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 87

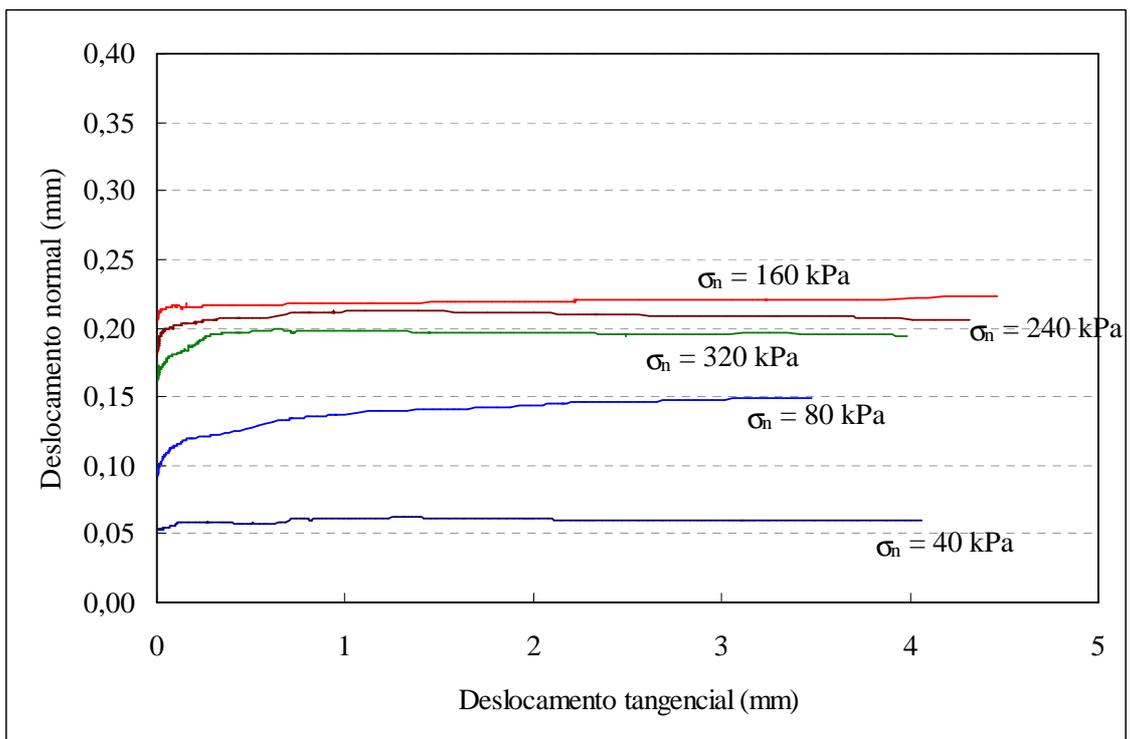


Figura B64 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 87

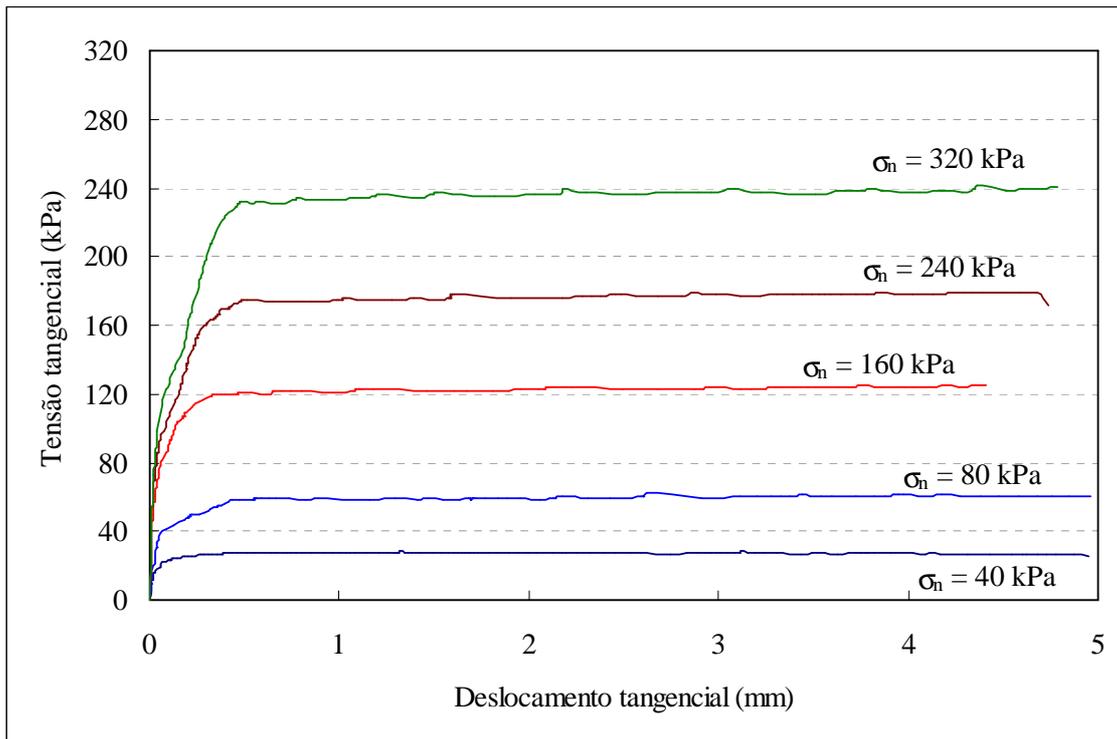


Figura B65 – Gráficos tensão tangencial – deslocamento tangencial do provete 88

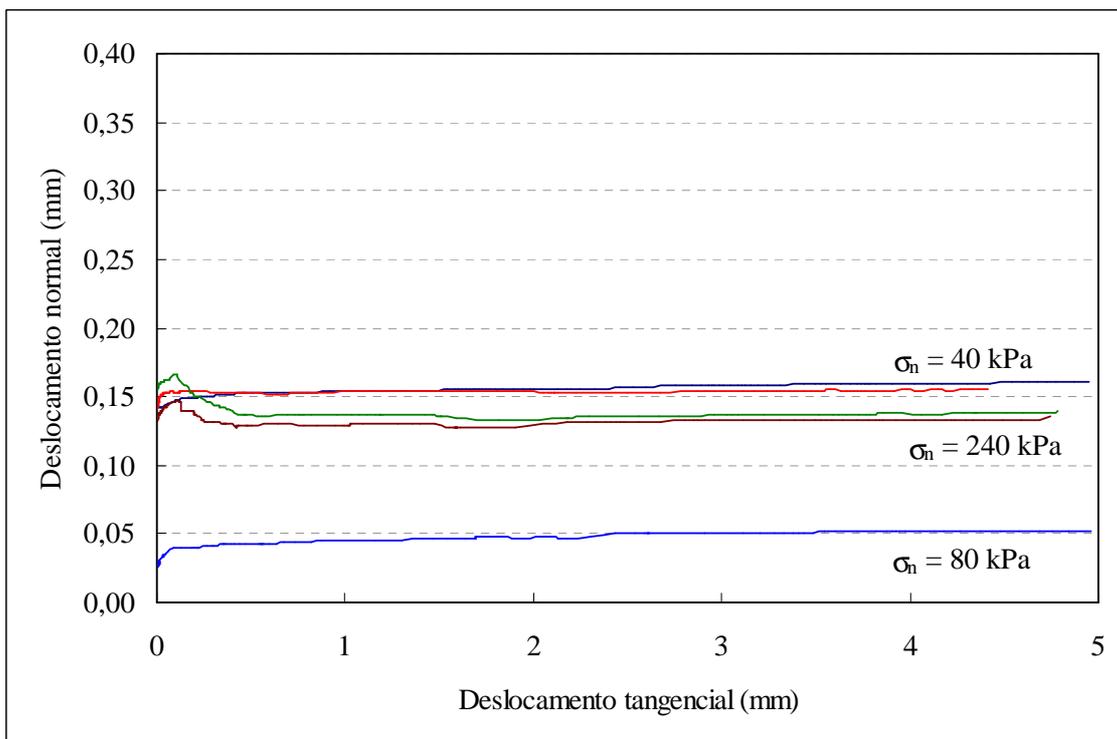


Figura B66 – Gráficos deslocamento normal – deslocamento tangencial do provete 88

