

Behaviour of contact and noncontact lap compression splices

Comportamento de emenda por traspasse de barras comprimidas em contato e separadas

C. B. QUINTANA ^a
consuebello@yahoo.com.br

G. B. GUIMARÃES ^b
giuseppe@civ.puc-rio.br

L. D. SHEHATA ^c
lidiashedata@vm.uff.br

Abstract

An experimental study on the behaviour of lap splices in concrete columns under uniaxial compression is summarized herein. The objective of the study was to investigate the influence of the distance between the spliced bars on the behaviour of the lap splice. The study included tests of two columns with spliced longitudinal bars under uniaxial compression: one column with bars in contact with each other in the splice and the other with bars spaced at twice the longitudinal bar diameter ϕ_r . In the tested columns, it was observed that the distance between the spliced bars has an insignificant influence on the mean bond stress in the splice. At ultimate load, in both columns, the normal stress at the tip of the bars was much higher than the uniaxial concrete compressive strength.

Keywords: reinforced concrete columns, bond stress, space between spliced bars.

Resumo

Neste trabalho é resumido um estudo experimental sobre o comportamento de emendas por traspasse de barras comprimidas em pilares de concreto armado, com o objetivo de investigar a influência da distância entre as barras emendadas sobre o comportamento da emenda. O estudo englobou os ensaios à compressão centrada de dois pilares: um com emenda com barras em contato e outro com emenda com barras separadas a uma distância igual a duas vezes o diâmetro das barras da armadura longitudinal, ϕ_r . Nos pilares ensaiados, constatou-se que a tensão média de aderência na emenda praticamente não depende da distância entre as barras. Para ambos os pilares, próximo à carga última, a tensão normal nas pontas das barras apresentou valores muito superiores à resistência uniaxial à compressão do concreto.

Palavras-Chave: pilares de concreto armado, tensão de aderência, separação das barras emendadas.

^a Lecturer, Basic Industrial Course, Centro Universitário da Zona Oeste – UEZO. RJ. email: consuebello@yahoo.com.br

^b Associate professor, Civil Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio. email: giuseppe@civ.puc-rio.br

^c Professor, Civil Engineering Department, Universidade Federal Fluminense, UFF. email: lidiashedata@vm.uff.br

1. Introdução

Em uma emenda por traspasse transfere-se a força de uma barra à outra através do concreto que as envolve. Ao longo da emenda, as forças são transferidas de uma barra para o concreto por aderência. No concreto, essas forças podem gerar elevadas tensões tangenciais, assim como tensões radiais que provocam o fendilhamento do concreto ao longo da emenda. A integridade de uma emenda depende do desenvolvimento de uma aderência adequada ao longo da superfície das barras e da capacidade do concreto que as envolve de transferir as tensões tangenciais.

Alguns estudos experimentais têm sido realizados com a finalidade de investigar o comportamento de emendas por traspasse, tracionadas, com as barras justapostas e separadas, em lajes (HAMAD E MANSOUR, 1996) e vigas sujeitas à flexão (WALKER, 1951; CHAMBELIN, 1952; CHINN, FERGUSON e THOMPSON, 1955) e em ensaios de arrancamento em prismas (WALKER, 1951; CHAMBELIN, 1952). Os resultados encontrados na literatura referentes à influência da separação entre as barras emendadas sobre a aderência ainda não são conclusivos.

A maioria das pesquisas sobre emendas por traspasse tem sido feita em emendas tracionadas. Comparadas às emendas comprimidas, as tracionadas são mais críticas, pois o concreto encontra-se fissurado ao longo do comprimento da emenda. Em geral, as recomendações de projeto das emendas comprimidas têm sido estabelecidas como base nos resultados dos ensaios de emendas tracionadas. No entanto, como nas emendas comprimidas existe maior integridade do concreto (ausência de fissuras) decorrente da própria compressão longitudinal do elemento e uma grande parcela da força de compressão é transferida pela ponta (no estudo realizado por Pfister e Mattock, 1963, foram detectadas tensões nas pontas das barras iguais a $5f_c$), pode ser que existam diferenças entre o comportamento de ambas as emendas.

O presente trabalho resume uma parte da pesquisa desenvolvida por Quintana (2005) sobre o comportamento da aderência em uma emenda com barras unidas e com barras separadas a 2ϕ , em pilares de concreto armado de seção transversal retangular, sob compressão centrada.

2. Programa Experimental

O programa experimental consistiu nos ensaios de dois pilares curtos sob compressão centrada. A variável adotada foi a separação entre as barras emendadas.

Os pilares tiveram seção transversal retangular de 210 mm x 120 mm, comprimento de 1,20 m, armadura longitudinal constituída de quatro barras de diâmetro 16 mm, com um comprimento de emenda de 600 mm. A taxa da armadura longitudinal na região da emenda foi de 6,4%. Foram usados estribos de 5 mm de diâmetro.

Foram colocados estribos espaçados de 20 mm nas extremidades (últimos 140 mm) dos pilares, para se ter um confinamento maior e evitar o rompimento nessas regiões. Nas extremidades da emenda foram colocados estribos com espaçamento menor do que aquele usado no resto da emenda face à concentração de tensões nessas regiões.

A nomenclatura adotada para os pilares foi: PEBU e PEBS, onde PE significa pilar com emenda, BU indica pilar com barras justapostas

Tabela 1 – Valores da resistência do concreto

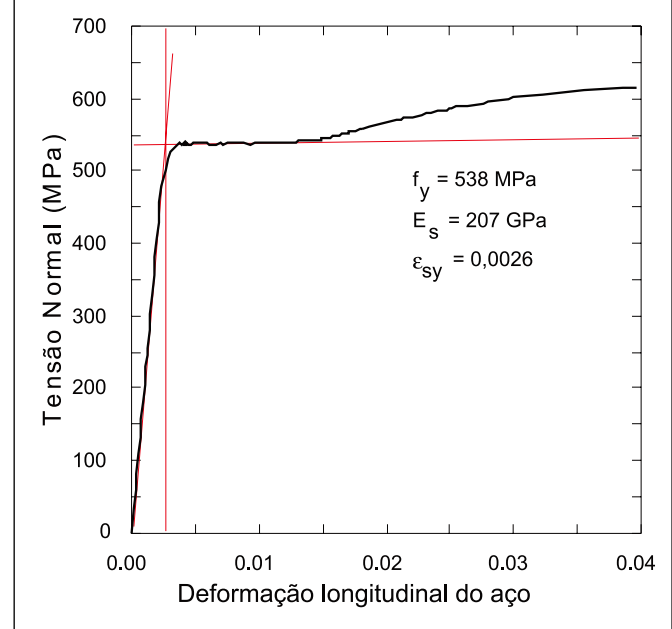
Corpos-de-prova	f_c (MPa)	f_{cm} (MPa)
C-1	31,2	-
C-2	31,4	-
C-3	31,0	31,3
C-4	31,6	-

postas na região da emenda e BS pilar com barras separadas de duas vezes o diâmetro da barra longitudinal na emenda.

2.1 Materiais e moldagem dos espécimes

Para a obtenção da curva tensão normal-deformação específica do aço da armadura longitudinal e da resistência do concreto à compressão foram ensaiados corpos-de-prova desses materiais.

Figura 1 – Curva tensão normal-deformação específica da armadura longitudinal



Na Figura 1 é mostrado um exemplo das curvas obtidas para a armadura longitudinal. Os valores da resistência à compressão do concreto dos corpos-de-prova no dia dos ensaios dos pilares e o valor médio da resistência encontram-se na Tabela 1.

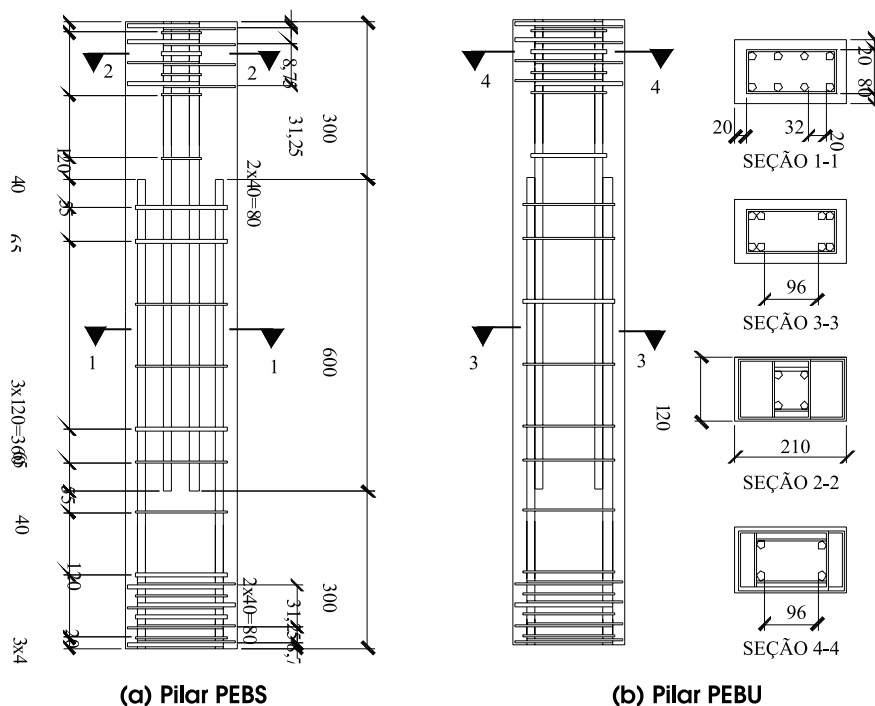
Os pilares foram moldados horizontalmente em fôrmas de madeira.

Tabela 2 - Características dos pilares

Pilar	Dimens. da seção (mm)	Comprimento (mm)	Armad. Long.	Separação das barras*	f_y (MPa)	ρ_l^* (%)	ϵ_{sy} (‰)	Armad. Transv.	f_c (MPa)
PEBU	210x120	1200	4 ϕ 16 mm	0	544	6,4	2,7	ϕ 5 mm com espaç. variável	31,3
PEBS				32					

* na emenda

Figura 2 - Vista lateral e seção transversal dos pilares (dimensões em mm)



O concreto foi compactado com auxílio de um vibrador e curado com molhagens sucessivas durante dois dias. No concreto foi usado agregado de 19 mm de dimensão máxima e relação água-cimento de 0,55, tendo-se um abatimento de tronco de cone de 100 mm.

2.2 Características dos pilares

As características dos pilares estão mostradas na tabela 2 e nas Figuras 2 e 3.

2.3 Instrumentação e procedimento de ensaio

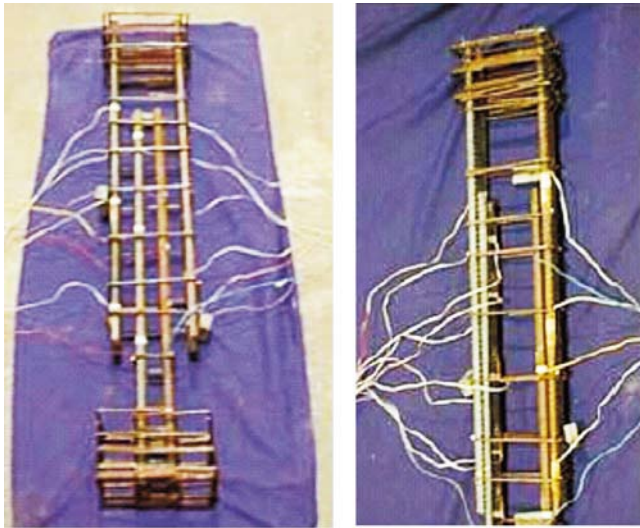
Em quatro barras da armadura longitudinal situadas na região da

emenda, nos dois pilares, foram colados extensômetros elétricos de resistência com 10 mm de comprimento. As barras instrumentadas estavam junto a arestas diagonalmente opostas dos pilares, como indicado na Figura 4a. Em ambos os pilares, em algumas barras foram colados três extensômetros e em outras cinco, conforme a Figura 4b.

As deformações específicas do concreto na seção localizada no meio do pilar foram medidas com extensômetros elétricos com 6,7 cm de comprimento, colados em faces opostas (Figura 5).

Na base e no topo do pilar foram usadas placas metálicas e entre estas e o pilar foi colocada uma capa de material compressível de 10 mm de espessura para acomodar qualquer irregularidade, conforme ilustrado na Figura 6. Para fixar o topo do pilar, foi colo-

Figura 3 – Armaduras dos pilares



(a) Pilar PEBS

(b) Pilar PEBU

cado um apoio metálico em torno do topo do pilar, como indicado na figura 6a. Essa peça foi fixada ao pórtico de reação por meio de barras rosqueadas, garantindo o posicionamento do pilar. O sistema foi executado de forma a permitir o deslocamento axial do topo do pilar durante o ensaio. O ajuste da posição exata do pilar

Figura 4 – Posição dos extensômetros. (a) na seção transversal (b) ao longo da emenda (dimensões em mm)

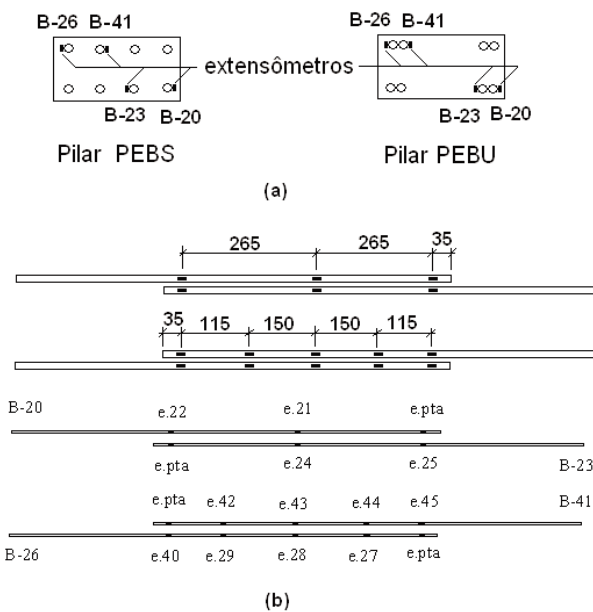
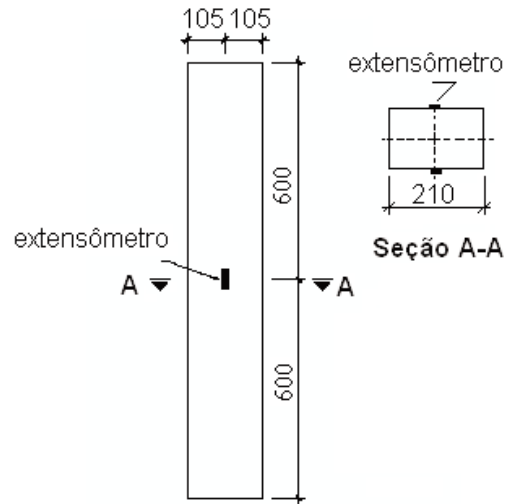


Figura 5 – Posição dos extensômetros no concreto (dimensões em mm)



era facilmente executado com o auxílio dos parafusos que ligavam o apoio ao pilar e ao pórtico.

Como se mostra na Figura 6, os eixos de simetria dos macacos e das placas foram colocados coincidentes com os eixos de simetria da seção de concreto para ter-se transmissão de carga centrada ao pilar.

Nos ensaios dos pilares foram utilizados dois macacos, tendo cada um capacidade de carga de 1000 kN e uma célula de carga de capacidade de 1000 kN (Figura 6a). Os ensaios foram feitos com controle de carga.

A carga foi aplicada ao pilar a uma taxa de aproximadamente 40 kN por minuto, em três ciclos sem interrupção: no primeiro, o pilar foi carregado até 400 kN e descarregado em seguida; no segundo a carga atingiu 800 kN (aproximadamente igual à carga de serviço do elemento) e foi novamente retirada; no terceiro, a carga foi aplicada até a ruptura. Durante o ensaio, as deformações específicas foram monitoradas continuamente até a ruptura do pilar.

3. Resultados

3.1 Modos de ruptura

A ruptura em ambos os pilares foi repentina e ocorreu numa seção localizada a uma distância de 300 mm do topo do pilar, na região coincidente com o extremo da emenda, conforme mostram as Figuras 7 e 8.

A Tabela 3 mostra os valores de carga máxima ($N_{máx}$) e os correspondentes valores da deformação do concreto (ϵ_c) na metade do comprimento do pilar e a deformação máxima ($\epsilon_{s máx}$) das barras de aço comprimidas, na região da ruptura (extremidade da emenda), relativas a essa carga, obtidos nos ensaios.

O menor valor da carga de ruptura do pilar PEBS pode ser explicado

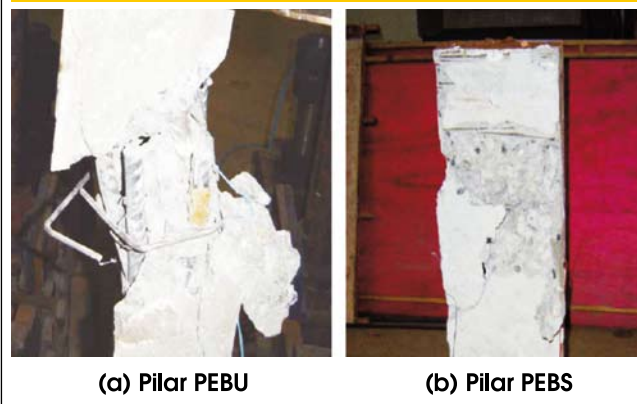
Figura 6 - Detalhe dos apoios dos pilares. (a): placa e apoio metálico no topo e (b): placa na base



Figura 7 - Região da ruptura dos pilares



Figura 8 - Detalhe da região da ruptura



pela pequena distância entre as barras longitudinais na região onde ocorreu a ruptura (ver Figura 2, seção 2.2), o que diminuiu a contribuição dessas barras no caso da existência de uma excentricidade causada por imperfeições.

3.2 Curvas carga-deformação específica

A Figura 9 mostra curvas carga-deformação específica típicas da armadura obtidas

nos ensaios. As curvas apresentadas a partir da Figura 10 correspondem a curvas envoltórias das curvas de carga-deformação em cada ciclo de carga.

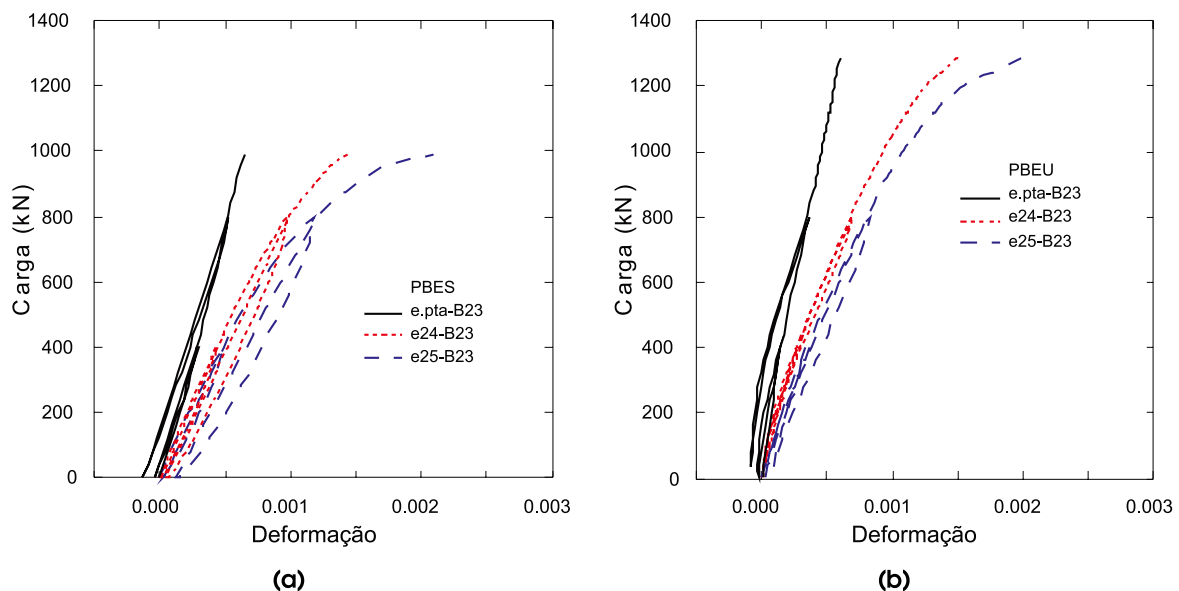
A Figura 10 mostra as curvas carga-deformação específica no concreto e a Figura 11 as curvas carga-deformação específica na armadura longitudinal do pilar PEBU. As maiores deformações do concreto e as maiores deformações nas barras 26 e 41, na mesma face do pilar PEBU, mostram que

As maiores deformações do concreto e as maiores deformações nas barras 26 e 41, na mesma face do pilar PEBU, mostram que

Tabela 3 - Resultados obtidos nos ensaios

Pilar	$N_{m\acute{a}x.}$ (kN)	ϵ_c (‰)	ϵ_s máx. (‰)
PEBU	1285	1.20	2.58
PEBS	985	1.30	2.10

Figura 9 – Curvas carga-deformação específica típicas da armadura.
(a): Barra 23 do pilar PBES e (b): Barra 23 do pilar PBEU



as maiores tensões se desenvolveram, nessa face do pilar, onde ocorreu a ruptura do concreto.

Para as barras 26 e 41 (com cinco extensômetros) de ambos os pilares, foram traçadas as curvas carga-deformações medidas pelos extensômetros que coincidiam em localização com os extensômetros das barras 20 e 23 (com três extensômetros), de modo a permitir a comparação dessas deformações.

A Figura 12 mostra as curvas carga-deformação no concreto e a Figura 13 as curvas carga-deformação na armadura longitudinal do pilar PEBS. No pilar PEBS, as maiores deformações do concreto obtidas por meio do extensômetro direito no concreto e as maiores deformações obtidas por meio dos extensômetros localizados nas barras 20 e 23, todos na mesma face do pilar, evidenciam que as maiores tensões se desenvolveram nessa face, onde se deu a ruptura do concreto.

3.3 Curvas de tensão normal nas barras

As tensões normais nas barras da armadura longitudinal

foram obtidas a partir das deformações específicas medidas e da curva tensão-deformação específica do aço longitudinal dada na Figura 1.

Nas Figuras 14 e 15 estão mostrados os valores experimentais, unidos por segmentos de retas, da tensão normal ao longo da emenda das barras longitudinais dos pilares PEBU e

PEBS, respectivamente, para as cargas de 400 kN, 800 kN e para a carga de ruptura de cada pilar.

Geralmente, para qualquer valor de carga, em ambos os pilares, a tensão normal na barra na zona da emenda aumentou à medida que o ponto instrumentado se distanciava da ponta da barra, como mostrado nas Figuras 14 e 15. Pode-se ver também nestas duas figuras que as pontas das barras apresentaram menor aumento da tensão normal com o aumento da carga, em comparação com os outros pontos das barras.

As Figuras 14 e 15 mostram ainda que o tipo de variação das tensões normais ao longo das emendas em ambos os pilares é similar. Isto mostra a pouca influência da separação das barras emendadas no comportamento global de uma

Figura 10 – Curvas envoltórias carga-deformação específica do concreto do pilar PEBU

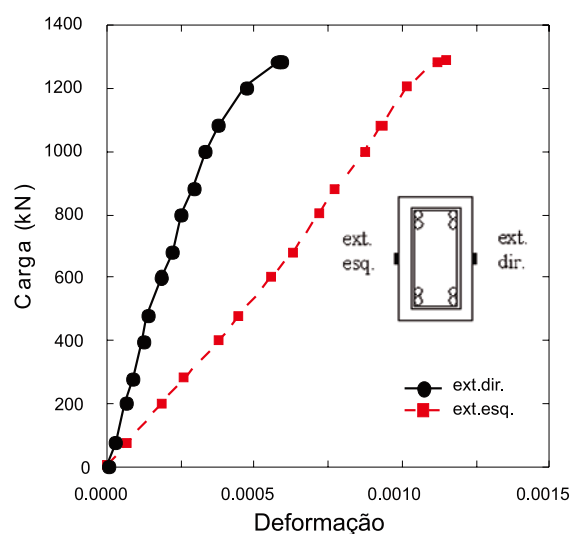
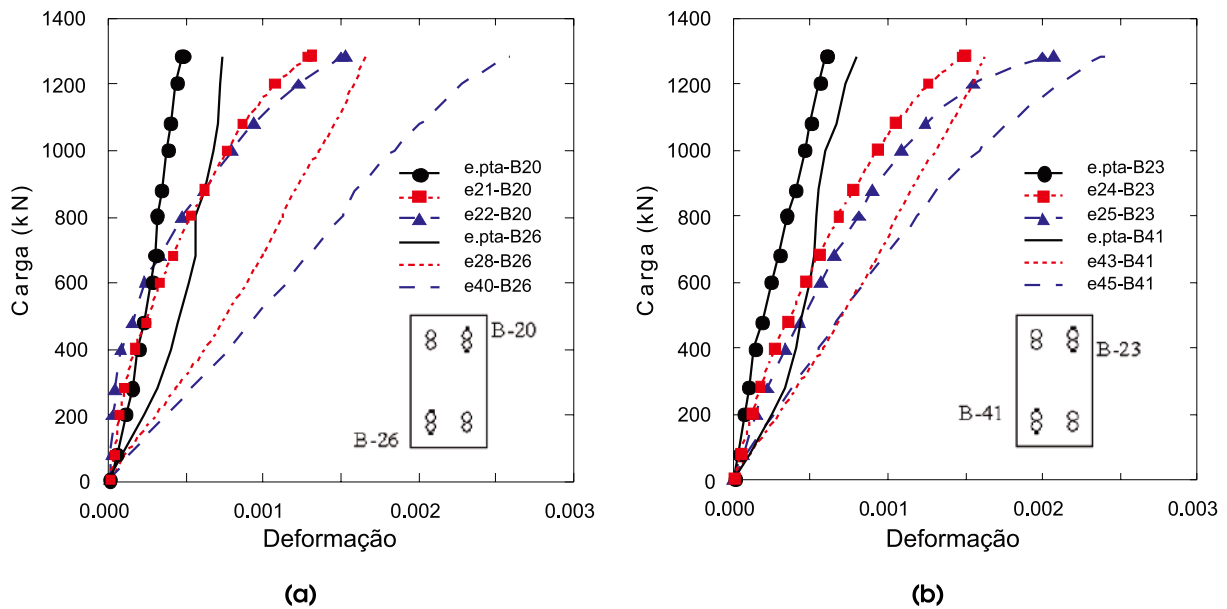


Figura 11 - Curvas envoltórias carga-deformação específica da armadura.
(a): Barras 20 e 26 do pilar PEBU e (b): Barras 23 e 41 do pilar PEBU



emenda comprimida, para os valores de espaçamento das barras adotados neste estudo.

3.4 Tensão normal nas extremidades da emenda das barras

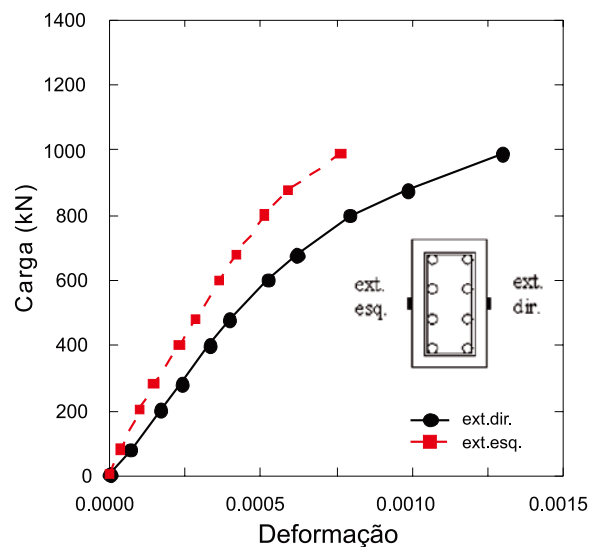
Em ambos os pilares, na carga última, as pontas das barras apresentaram valor de tensão normal entre 66 e 158 MPa, como mostrado na tabela 4, sendo estes valores 2 a 5 vezes a resistência à compressão uniaxial do concreto, f_c . Valores similares foram encontrados por Pfister e Mattock (1963) e Scott et al. (1989) também observaram que as tensões no concreto devido à compressão das pontas excediam a resistência uniaxial à compressão do concreto.

Na Tabela 4 estão mostradas as tensões nas barras nas extremidades da emenda: na ponta (σ_p) e na extremidade da emenda oposta a ela (σ_e), para as cargas 400 kN, 800 kN e última. Pode-se observar que, para todas as barras, a relação σ_e/σ_p aumenta com o

incremento da carga. Para a carga última, a relação σ_e/σ_p varia entre 3 e 4,5.

3.5 Tensão de aderência na emenda

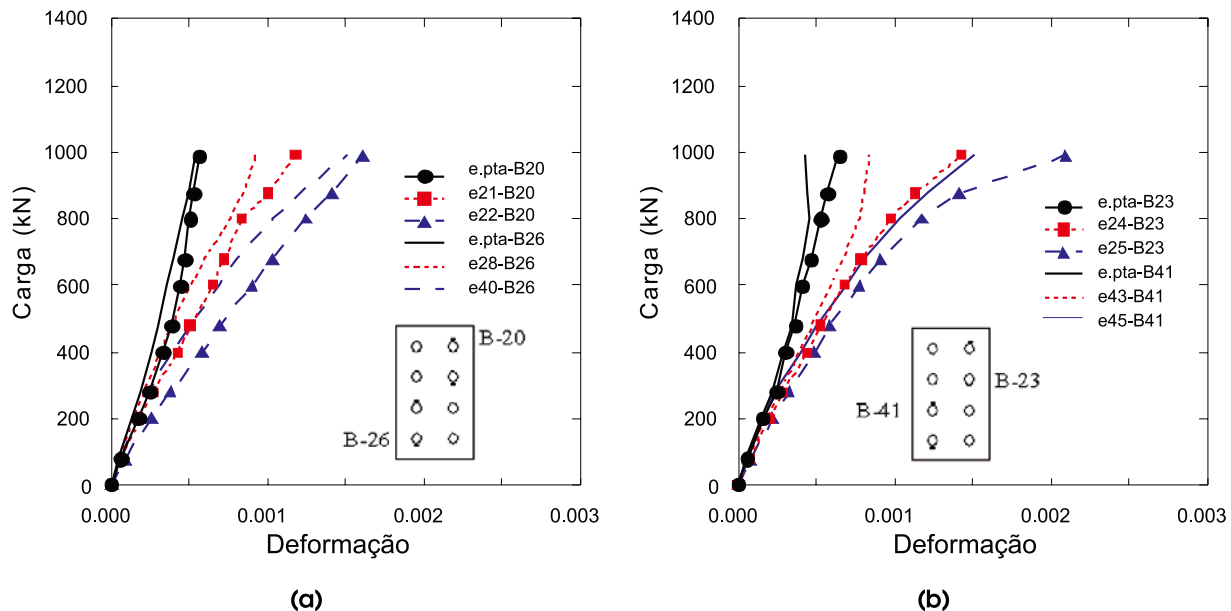
Figura 12 - Curvas envoltórias carga-deformação específica do concreto do pilar PEBS



Apesar de em ambos os pilares a carga aplicada ter sido centrada, a distribuição das deformações numa dada seção transversal não foi uniforme devido a pequenas imperfeições. Conseqüentemente, para um mesmo valor da carga aplicada, as tensões numa determinada barra (barra 41, por exemplo) apresentaram diferenças nos dois pilares. Para melhor comparar a distribuição de tensões de aderência ao longo de uma mesma barra em ambos os pilares, a comparação é feita, então, para um mesmo valor da deformação específica medida no início do trecho da emenda.

Na figura 16 mostra-se a distribuição da tensão de aderência (τ_i) em cada trecho ao longo da emenda das barras 26 e 41 para as deformações de 0,0005, 0,0010 e 0,0013 no

Figura 13 – Curvas envoltórias carga-deformação específica da armadura.
(a): Barras 20 e 26 do pilar PEBS e (b): Barras 23 e 41 do pilar PEBS



início do trecho da emenda em ambos os pilares. Na barras B-26 e B-41, a partir das tensões normais nas cinco diferentes posições das barras de aço onde foram medidas as deformações, obtiveram-se as tensões de aderência em cada um dos quatro trechos entre essas cinco posições, mediante a fórmula

$$\tau_i = \frac{\pi \phi^2}{4u} \frac{\Delta \sigma_s}{\Delta x}$$

onde u é o perímetro de contato entre a barra e o concreto ao longo do comprimento Δx do trecho situado entre duas posições consecutivas, $\Delta \sigma_s = \Delta \epsilon_s E_s$, $\Delta \epsilon_s$ é a diferença entre as deformações medidas nessas duas posições e E_s é o módulo de elasticidade do aço (210000 MPa). O mesmo procedimento foi adotado para as barras B-20 e B-23, porém com o número de trechos igual a dois, pois só havia três extensômetros.

A Tabela 5 mostra os valores da tensão de aderência média τ_m referente a todo o comprimento da emenda, obtidos mediante a expressão

$$\tau_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

onde $n = 2$ para as barras B-20 e B-23 e $n = 4$ para as barras B-26 e B-41.

Na figura 16, os valores de τ_i são maiores nas extremidades da emenda das barras, sendo que a tensão próxima à ponta tende a ser maior. Scott et al. (1989), ao ensaiar elementos à compressão com barras emendadas, observaram que os maiores valores das tensões de aderência ocorreram nas pontas das barras. Por sua vez, Quintana (2005), nos ensaios de 12 pilares com barras emen-

dadas submetidos a compressão excêntrica, observou que geralmente os maiores valores de τ_i ocorreram em regiões próximas à ponta das barras.

Como mostra a Tabela 5, os valores médios da tensão de aderência, para as deformações de 0,0010 e 0,0013 no início do trecho da emenda, não apresentam diferenças maiores que cerca de 20% entre os dois pilares. Levando-se em conta as possíveis imperfeições dos pilares, pode-se dizer que o comportamento global da emenda dos dois pilares foi similar. Ensaios de vigas com emenda das barras tracionadas justapostas ou separadas de ϕ_l e $2\phi_l$ (CHAMBERLIN, 1958) ou de $2,5\phi_l$ (CHINN, FERGUSON e THOMPSON, 1955) mostraram também não haver diferença relevante entre as resistências dessas emendas.

Esses resultados mostram que, apesar das barras em contato na emenda não terem concreto envolvendo-as completamente, com a armadura transversal usada, elas foram capazes de desenvolver tensões de aderência da mesma ordem que as das barras separadas de $2\phi_l$. Segundo Walker (1951), uma adequada vibração durante a concretagem pode garantir uma boa penetração de argamassa entre as nervuras das barras em contato e uma boa aderência entre essas barras e a argamassa e não existem evidências de que a argamassa entre as barras seja de qualidade inferior à do concreto ao redor das barras separadas.

Para a carga de ruptura, os valores de τ_m nos dois pilares foram da ordem de 2 MPa.

4. Conclusões

Neste trabalho foram analisados experimentalmente dois pilares sujeitos a compressão centrada, ambos com as barras longitu-

diniais emendadas por traspasse: um com as barras justapostas e outro com as barras separadas de uma distância igual a duas vezes o diâmetro das barras. Os resultados mostraram que:

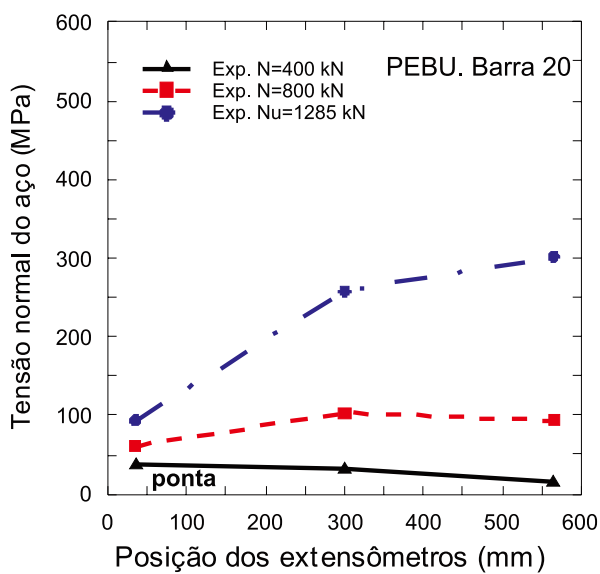
- Para ambos os pilares, na carga última, as pontas das barras tiveram um valor de tensão normal entre 2 a 5 vezes o valor da resistência à compressão do concreto. Para todas as barras, a relação entre as tensões normais nas extremidades da emenda (σ_e/σ_p) aumentou com o incremento da carga.
- Os valores de tensão de aderência (τ_i) em ambos os pilares

foram maiores nas extremidades da emenda das barras, sendo que a tensão próxima à ponta tendeu a ser maior.

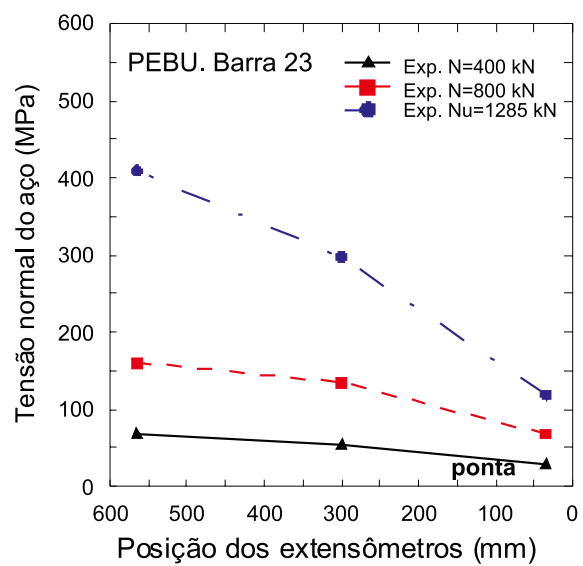
- Os valores médios da tensão de aderência na emenda em ambos os pilares foram similares. Isto mostra a pouca influência do espaçamento entre as barras emendadas no comportamento global da emenda comprimida.

É recomendável estender este estudo a um número maior de ensaios de pilares com emendas comprimidas onde o espaçamento entre as barras emendadas abranja uma maior faixa de valores.

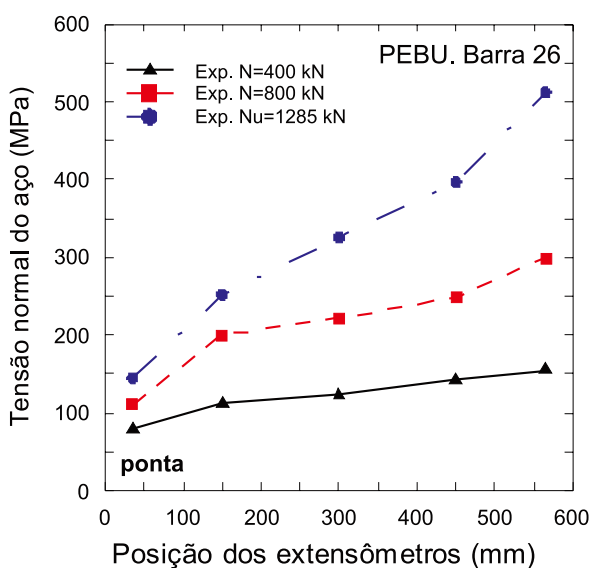
Figura 14 - Tensão normal ao longo da emenda nas barras do pilar PEBU;
(a): barra 20; (b): barra 23; (c): barra 26; (d): barra 41



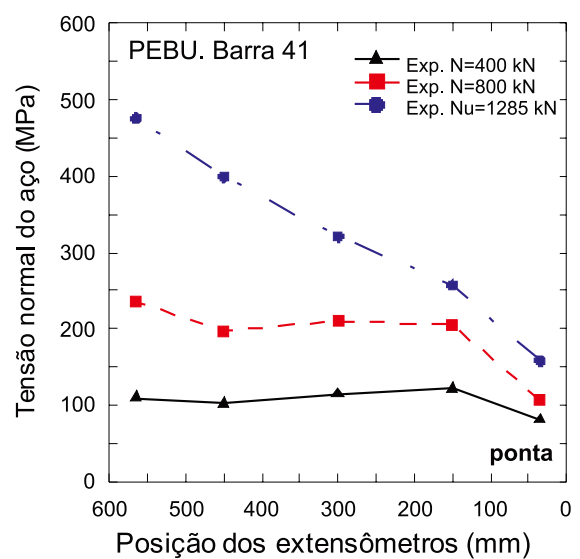
(a)



(b)



(c)



(d)

5. Agradecimentos

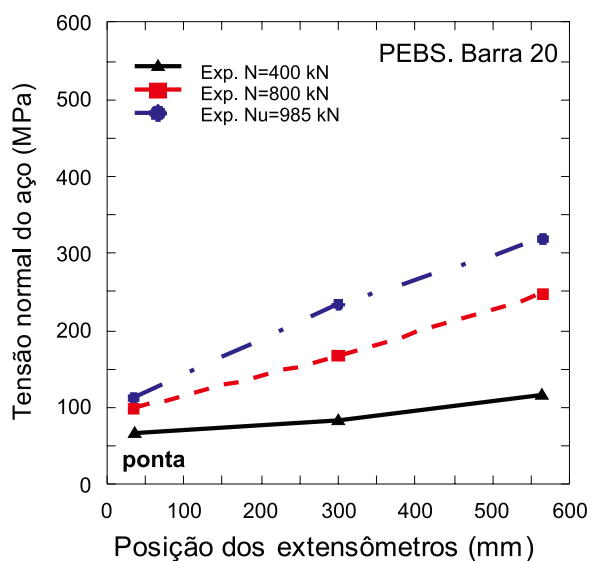
Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES pelo auxílio financeiro.

6. Referências

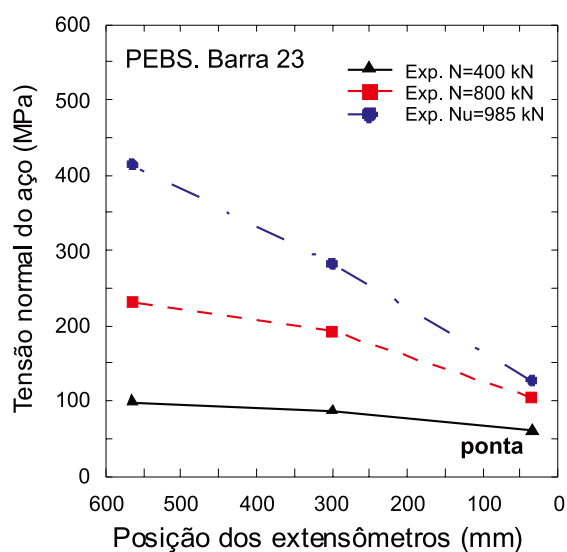
[01] CHAMBERLIN, S.J. Spacing of spliced bars in tension pull-out specimens. ACI Journal Proceedings, vol. 49, No. 4, parte 1. Dec. 1952.

[02] CHAMBERLIN, S. J. Spacing of spliced bars in beams. ACI Journal, Proceedings, vol. 54, No. 8, p.689-691, Feb. 1958.
 [03] CHINN, J., FERGUSON, P. and THOMPSON, J. Lapped splices in reinforced concrete beams. ACI Journal Proceedings, vol. 52, No. 2, Oct. 1955.
 [04] HAMAD, B.S. and MANSOUR, M. Bond strength of noncontact tension lap splices. ACI Structural Journal, vol.93, No. 3, p. 316-326, May-June 1996.
 [05] PFISTER J.F. and MATTOCK A.H. High strength

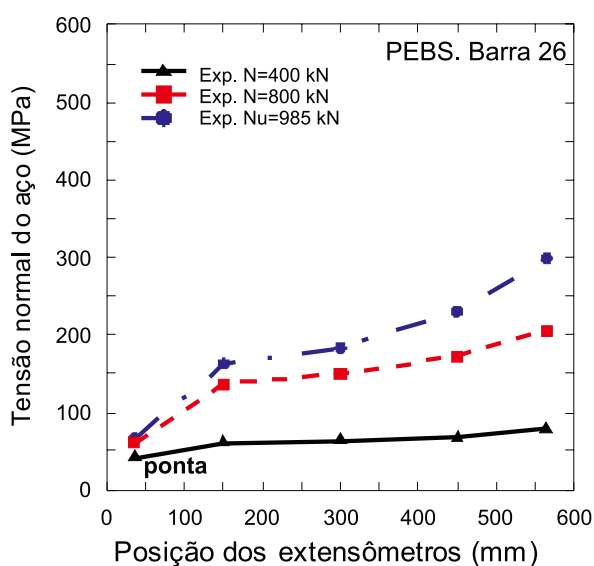
Figura 15 - Tensão normal ao longo da emenda nas barras do pilar PEBS. (a): barra 20; (b): barra 23; (c): barra 26; (d): barra 41



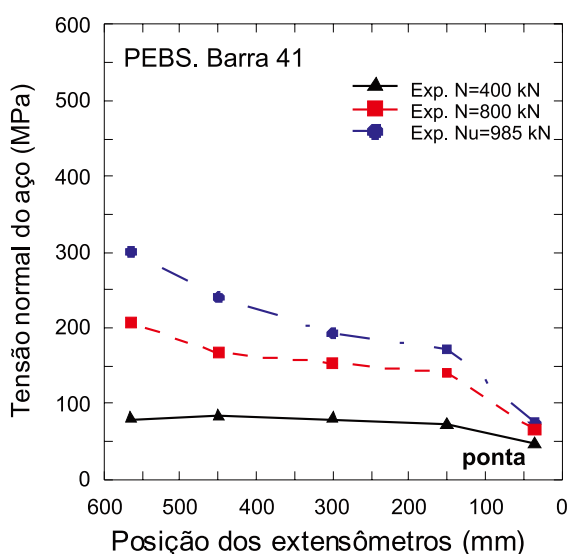
(a)



(b)



(c)



(d)

bars as concrete reinforcement. Part 5. Lapped splices in concentrically loaded columns. Journal of the PCA. Research and Development Laboratories. p.27-40. May 1963.

- [06] QUINTANA, C.B. Influência da Armadura Transversal e do Cobrimento da Armadura Longitudinal na Resistência de Pilares de Concreto. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil,

PUC-Rio, 174p. Rio de Janeiro, Setembro, 2005.

- [07] SCOTT, R.H., GILL, P.A.T and JUDGE, R.C.B. Force transfer in compression lap joints in reinforced concrete. Magazine of Concrete Research, vol.41, No. 146, March 1989.
- [08] WALKER, W.T. Laboratory tests of spaced and tied reinforcing bars. ACI Journal Proceedings, vol. 47, No. 5, p.365-378, Jan. 1951.

Tabela 4 - Tensões normais nas extremidades da emenda das barras (Carga: kN; tensão: MPa)

Pilar		PEBU			PBES		
Barra	Tensão	Carga			Carga		
		400	800	1285	400	800	985
C20	σ_p	37,4	61,0	93,6	65,2	98,9	112,1
	σ_e	15,2	93,6	302,1	114,7	247,2	318,4
	σ_e / σ_p	0,4	1,5	3,2	1,8	2,5	2,8
C23	σ_p	27,6	67,9	118,6	59,3	104,4	127,2
	σ_e	67,3	160,4	408,7	98,9	231,7	414,0
	σ_e / σ_p	2,4	2,4	3,4	1,7	2,2	3,3
C26	σ_p	79,6	111,1	144,8	41,4	60,0	65,7
	σ_e	155,3	299,4	511,8	79,1	205,7	298,7
	σ_e / σ_p	2,0	2,7	3,5	1,9	3,4	4,5
C41	σ_p	80,7	106,8	158,2	47,0	66,0	75,2
	σ_e	109,6	235,0	475,7	79,1	205,7	298,7
	σ_e / σ_p	1,4	2,2	3,0	1,7	3,1	3,9

Tabela 5 - Tensão de aderência média

Pilar	Barras	τ_m (MPa)		
		Deformação		
		0.0005	0.0010	0.0013
PEBU	B-20	0,70	0,94	1,34
	B-23	0,47	0,92	1,29
	B-26	0,36	0,98	1,22
	B-41	0,60	1,27	1,56
PBES	B-20	0,30	1,12	1,26
	B-23	0,37	0,89	1,20
	B-26	0,41	0,99	1,39
	B-41	0,36	0,99	1,46

Figura 16 - Distribuição da tensão de aderência ao longo da emenda nas barras B-26 e B-41 dos pilares PEBU e PEBS

