

Adherence between steel bars and lightweight concrete with EPS beads

Aderência entre barras de aço e concreto leve com pérolas de EPS



A. L. SARTORI^a
artur.sartorti@ucb.org.br

L. M. PINHEIRO^b
libanio@sc.usp.br

R. M. DA SILVA^c
raphael.vertice@live.com

S. B. FREITAS^a
samueelfreitas1985@gmail.com

T. G. CESAR^d
tiago.cesar.l5@hotmail.com

Abstract

This paper describes the adherence behavior of a structural lightweight concrete with EPS beads (SLCEB) in a monotonic loading, based in a bibliographic review and in pull-out tests. The results of these SLCEB tests were compared with those of an ordinary concrete (OC) and with the values based in indications of the Brazilian code ABNT NBR 6118:2014 – Design of concrete structures. The pull-out tests of two batches of SLCEB and one of OC were analyzed, in a total of 60 tests. Mechanical characteristics were determined too, such as: compressive strength and tensile strength in split cylinder test. The calculated results according to the above mentioned standard were very different from those obtained in the tests, indicating that the theoretical values are more conservative than the experimental ones. It was also verified that it is possible to use SLCEB in structures with respect to the adequate adherence of reinforcement in the concrete.

Keywords: lightweight concrete with EPS, anchoring by adherence, sliding, splitting, adherence stress.

Resumo

Este artigo descreve o comportamento da aderência de um concreto leve estrutural com pérolas de EPS (CLEPE) sob carregamento monotônico, com base em revisão bibliográfica e em ensaios de arrancamento. Os resultados desses ensaios de CLEPE foram comparados com os de um concreto convencional (CC) e com os valores baseados nas recomendações da ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto. Foram analisados os ensaios de arrancamento de dois lotes de CLEPE e um de CC, totalizando 60 ensaios. Também foram determinadas características mecânicas, tais como: resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral. Os resultados calculados de acordo com a norma citada foram muito diferentes dos obtidos nos ensaios, indicando que os valores teóricos são mais conservadores do que os experimentais. Verificou-se também que é possível usar o CLEPE em estruturas, no que diz respeito à adequada aderência da armadura ao concreto.

Palavras-chave: concreto leve com EPS, ancoragem por aderência, deslizamento, fendilhamento, tensão de aderência.

^a Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP, São Paulo, SP;

^b Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP, São Carlos, SP;

^c União Central Brasileira da Igreja Adventista para região leste do estado de São Paulo;

^d Associação Central Paranaense da Igreja Adventista do Sétimo Dia.

1. Introdução

A aderência é responsável pelo comportamento solidário entre aço e concreto. A sua ruptura é frágil e, portanto, precisa ser evitada. Atualmente, a aplicação do concreto leve em estruturas intensifica a necessidade do estudo da aderência entre barras de aço e esses novos concretos, para que assim sejam estabelecidas regras para cálculo de ancoragem e de comprimentos de traspasse (SILVA, FREITAS e CESAR [1]).

O Concreto Leve Estrutural com Pérolas de EPS (CLEPE) é o material foco do presente artigo. O Poliestireno Expandido (EPS) é um derivado do petróleo que possui até 98% de vazios, sendo utilizado no CLEPE para reduzir a massa específica em até 50% ou ainda mais, quando comparado ao concreto convencional, de acordo com Catoia [2].

O CLEPE é um material relativamente novo no cenário técnico e possui características peculiares que acompanham a redução da massa específica. Diminuição da resistência à compressão, alteração na resistência à tração e mudança na resistência de aderência entre aço e concreto podem ser citadas entre essas características.

Neste trabalho é descrito um embasamento teórico sobre a aderência aço-concreto, e posteriormente são apresentados resultados obtidos em laboratório, que podem ser utilizados para estimativa da resistência de aderência aço-CLEPE.

2. Concreto leve estrutural com pérolas de EPS

Popularmente, o termo “concreto” refere-se a algo sólido e que possui peso considerável. A associação do termo “leve” ao concreto pode causar certa perplexidade ao público leigo, que não esperaria tal característica em um concreto.

Entretanto, a necessidade de melhorar características específi-



Figura 1

Ensaio de espalhamento do CLEPE

Fonte: Catoia (2), p. 55

cas, como a redução do peso próprio, levou a ciência do concreto a desenvolver soluções especiais, entre elas o concreto leve.

O concreto leve pode ser definido como um material caracterizado pela baixa massa específica, em relação aos concretos comuns. Neville [3] indica que o intervalo prático de massa específica dos concretos leves é de 300 kg/m³ a 1800 kg/m³. Porém, nada impede que outras massas específicas, fora desse intervalo, também possam ser consideradas como pertencentes a concretos leves.

O ACI 213R-87 [4] classifica os concretos leves em três grupos, em função da massa específica, influenciada diretamente pelo teor de cimento e pelo tipo de agregado leve utilizado, cuja origem pode ser natural ou artificial, conforme descrito por Sbrighi Neto [5]. Esses grupos são: concretos isolantes, destinados principalmente à composição de painéis de vedação isolantes térmicos; concretos com resistências moderadas, que possuem aplicação em enchimentos de pisos e em outras de menor responsabilidade; e concretos estruturais, que devem ter resistência mínima de 17 MPa.

O uso de concretos leves teve início há 1850 anos, no Panteão romano, reconstruído, após um incêndio, pelo imperador Adriano (AÏTCIN [6]). Um relato histórico interessante pode ser encontrado em Rossignolo e Agnesini [7] e Rossignolo e Agnesini [8], que destacam a aplicação de concretos leves em obras emblemáticas e de grande porte, como edifícios altos e grandes pontes.

A concepção de concreto leve com poliestireno expandido (EPS) surgiu com o desenvolvimento da tecnologia do concreto e a constante preocupação com a questão da sustentabilidade.

A Associação Brasileira de Poliestireno Expandido – ABRAPEX [9] define concreto leve com EPS como um concreto do tipo cimento e areia que, no lugar da pedra britada, utiliza EPS na forma de pérolas expandidas ou de flocos reciclados. A mistura de cimento e areia, ao endurecer, envolve as partículas de EPS, cujo volume é constituído de 95% a 98% de ar, proporcionando um concreto de baixa densidade.

O estudo do concreto leve com EPS é indicado por Chen *et al.* [10] como tendo início em 1973. Nos últimos anos, algumas pesquisas e estudos experimentais conduziram a um bom avanço na tecnologia de concretos com EPS, como os realizados por Catoia [2] e Sartorti [11].

Foram avaliadas dosagens, resistências, fluência, retração e aplicações, e também foram realizados estudos sobre a durabilidade de concretos leves com EPS, como os indicados por Momtazi *et al.* [12]. Nas pesquisas dos citados autores, várias dosagens com o uso de EPS foram elaboradas, obtendo-se resultados satisfatórios quanto à absorção de água pelo concreto, resistência à condutividade elétrica e uso do concreto em ambiente marinho.

No Brasil, algumas pesquisas foram feitas com o concreto leve com pérolas de EPS. Podem ser citadas as pesquisas de: Sant’Helena [13], que produziu concretos com substituição parcial dos agregados graúdos por EPS em pérolas, nas proporções de 20% e 40%, chegando a resultados que caracterizaram concreto leve sem função estrutural; Porto [14], que ensaiou corpos de prova cilíndricos para obtenção de resistência à compressão e módulo de elasticidade de concretos “semileves”, com agregados graúdos normais e parte do volume de agregados substituído por pérolas de EPS; e Catoia [2], que fez uma extensa caracterização do concreto leve com pérolas de EPS, utilizada neste artigo.

Com a definição de concreto leve com EPS (CLE), observa-se que

existem semelhanças entre esse material e alguns concretos com agregados leves, e outras semelhanças entre ele e os concretos celulares. De fato, segundo Neville [3], o termo concreto não deveria ser utilizado para esse material, pois ele não tem agregados graúdos. Sugere-se, portanto, neste artigo, que a classificação do concreto leve com pérolas de EPS (CLEPE - variação do concreto leve com EPS) seja enquadrada de forma intermediária entre o concreto leve com agregados leves e o concreto celular.

De forma geral, os materiais que constituem o CLEPE são cimento, agregado miúdo, EPS (em substituição ao agregado graúdo, porém não com a mesma função deste), água e aditivos superplastificantes. A Figura 1 ilustra o CLEPE em seu estado fresco, e a Figura 2, a superfície retificada de um corpo de prova cilíndrico de CLEPE.

Catoia [2] obteve resultados para o CLEPE de três dosagens diferentes, que variaram na quantidade de cimento. Entre os diversos resultados, destacam-se três, obtidos aos 28 dias de idade. A resistência média à compressão variou de 13 MPa a 17 MPa. O módulo de elasticidade teve sua variação na faixa de 8 GPa a 11 GPa. Já o peso específico ficou entre 12 kN/m³ e 13,5 kN/m³.

Dentre as aplicações mais usuais do CLEPE estão: painéis de vedação, lajes maciças de pequenos e médios vãos, pré-fabricados em geral e peças ornamentais.

3. Princípios da aderência aço-concreto

Conforme Leonhardt e Mönning [15], o concreto armado tem boas características como um material amplamente empregado na construção civil, e elas se devem à solidarização entre a armadura e o concreto, proveniente da aderência.

A aderência pode ser encarada como o fenômeno que permite o funcionamento do concreto armado como material estrutural. Sem ela, a armadura deslizaria dentro da matriz de concreto, e a peça teria um comportamento similar ao de uma estrutura de concreto simples.

Apesar da grande importância da aderência entre concreto e aço, este assunto é um dos mais difíceis de serem plenamente compreendidos, segundo Almeida Filho [16]. Isto se deve ao número elevado de dificuldades teóricas e experimentais encontradas no estudo da aderência. De acordo com Fusco [17], a aderência pode ser explicada com a soma de três mecanismos resistentes: adesão; atrito e engrenamento mecânico.

3.1 Aderência por adesão

A aderência por adesão é a parcela de resistência verificada na separação direta de uma chapa de aço do concreto, devida a uma força normal a essa chapa. Sua origem está nas ligações físico-químicas que se desenvolvem na interface dos dois materiais, durante a hidratação do cimento. Possui um valor relativamente baixo e exerce pouca influência no valor total da aderência.

3.2 Aderência por atrito

Leonhardt e Mönning [15] comentam que quando a adesão é rompida por um deslocamento relativo insignificante, aparece a ade-

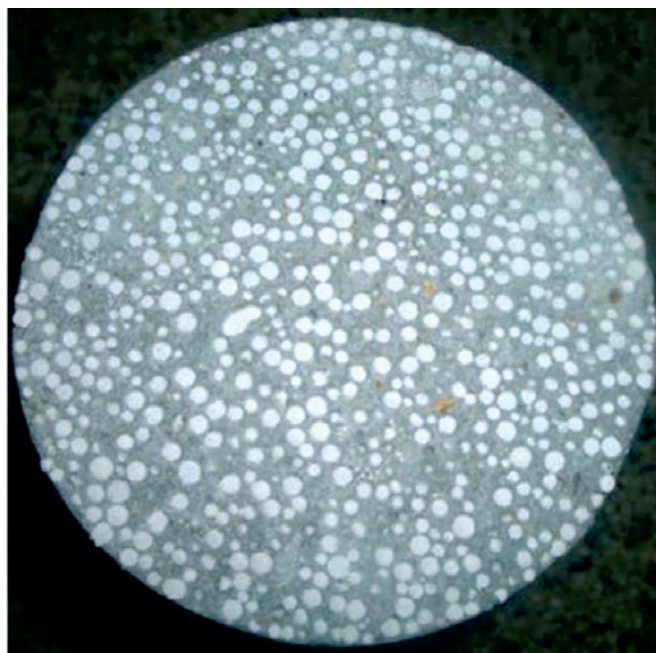


Figura 2
Aparência do CLEPE endurecido
Fonte: Catoia (2), p. 51

rência por atrito desde que existam pressões transversais às armaduras. Essas pressões transversais são devidas a forças ou à própria retração do concreto.

Segundo Fusco [17], as forças de atrito dependem também do coeficiente de atrito entre aço e concreto, o qual é função da rugosidade superficial da barra. Quando essa rugosidade é muito grande, a parcela resistida pelo atrito confunde-se com a aderência por engrenamento mecânico.

3.3 Aderência por engrenamento mecânico

Com o engrenamento mecânico oferecido pelas moedas (entalhes, cavidades, reentrâncias) e pelas nervuras das barras, formam-se “consolos de concreto”, que são solicitados ao corte antes que a armadura possa deslizar dentro do concreto, conforme Leonhardt e Mönning [15]. Essa parcela de resistência é a mais efetiva e confiável. Fusco [17] ainda comenta que essa aderência existe também nas chamadas barras lisas, devido à conformação superficial irregular dessas barras.

Vale ser destacado que, na prática, a separação da aderência nas três parcelas é somente esquemática, pois não é possível determinar cada uma separadamente. Outros fatores que interferem no comportamento são indicados por Almeida Filho [16], que são: dosagem do concreto, temperatura e umidade da matriz; idade do concreto e valores da resistência do concreto à tração; tipo de barra e comprimento de ancoragem; velocidade do carregamento e sua repetição.

Outro fator de extrema importância é a posição da armadura. Na parte superior das peças de concreto, a exsudação é maior e a adesão é prejudicada. A ABNT NBR 6118 [18] trata as regiões de

uma peça como zonas de boa e de má aderência. As condições são estabelecidas no item 9.3.1 da referida norma.

4. Mecanismos de ruptura da aderência

Almeida Filho [16] descreve alguns tipos de ruptura da aderência, entre os quais se destacam: deformação elástica, fissuração secundária, fissuração por fendilhamento longitudinal e esmagamento do concreto nas nervuras das barras longitudinais. A Figura 3 ilustra esses quatro mecanismos de ruptura.

O deslizamento e o arrancamento da barra são consequências de uma das formas de ruptura indicadas na Figura 3. Via de regra, essas rupturas são frágeis, pois estão relacionadas com o concreto. Exceção faz-se à deformação plástica excessiva, que se refere à barra de aço.

Quando o comprimento de ancoragem é grande o suficiente para evitar a ruína frágil por algum dos mecanismos ora citados (fissuração secundária, fissuração longitudinal e esmagamento do concreto), a ruptura dar-se-á por escoamento do aço. Esta forma de ruptura é mais dúctil.

5. Ensaios para determinação da resistência de aderência

Segundo Castro [19], ao estudar a aderência entre o concreto e a armadura, levam-se em conta dois problemas: ancoragem da armadura e fissuração do concreto.

Para ancoragem por aderência, o principal ponto é determinar o comprimento necessário para que haja transferência dos esforços

da armadura para o concreto, conservando a integridade do concreto na região de ancoragem, a resistência das outras barras que permanecem no trecho em que a barra ancorada foi suprimida, e a resistência e a rigidez da barra aos esforços que atuam na região ancorada (CASTRO [19]).

Para a fissuração das peças de concreto armado, tem-se como meta a manutenção das aberturas abaixo de limites aceitáveis. Portanto, é necessário que, ao se realizarem os ensaios, seja dada atenção às peculiaridades do fenômeno que se quer estudar.

5.1 Ensaio de arrancamento

De acordo com Castro [19], visando a ancoragem das barras de aço, a resistência de aderência pode ser obtida nos ensaios de arrancamento. Os resultados desses ensaios são apresentados em forma de curvas tensão de aderência versus deslizamento, sendo a tensão de aderência e o deslizamento medidos na extremidade livre da barra.

Conhecidas as dimensões do modelo, é difícil medir a variação de tensão ao longo do comprimento de aderência. No dimensionamento das regiões de ancoragem, assume-se que na ruptura as tensões de aderência são uniformemente distribuídas ao longo do comprimento de ancoragem. Do ponto de vista prático essa hipótese é razoável, pois simplifica o modelo de cálculo.

Em aplicações usuais sob confinamento moderado, essa hipótese tem certo respaldo em relação ao comportamento real da ancoragem. Ao aumentarem as forças mobilizadas pela aderência, desenvolvem-se fissuras longitudinais e radiais ao longo das barras ancoradas, o que resulta na perda de rigidez do concreto

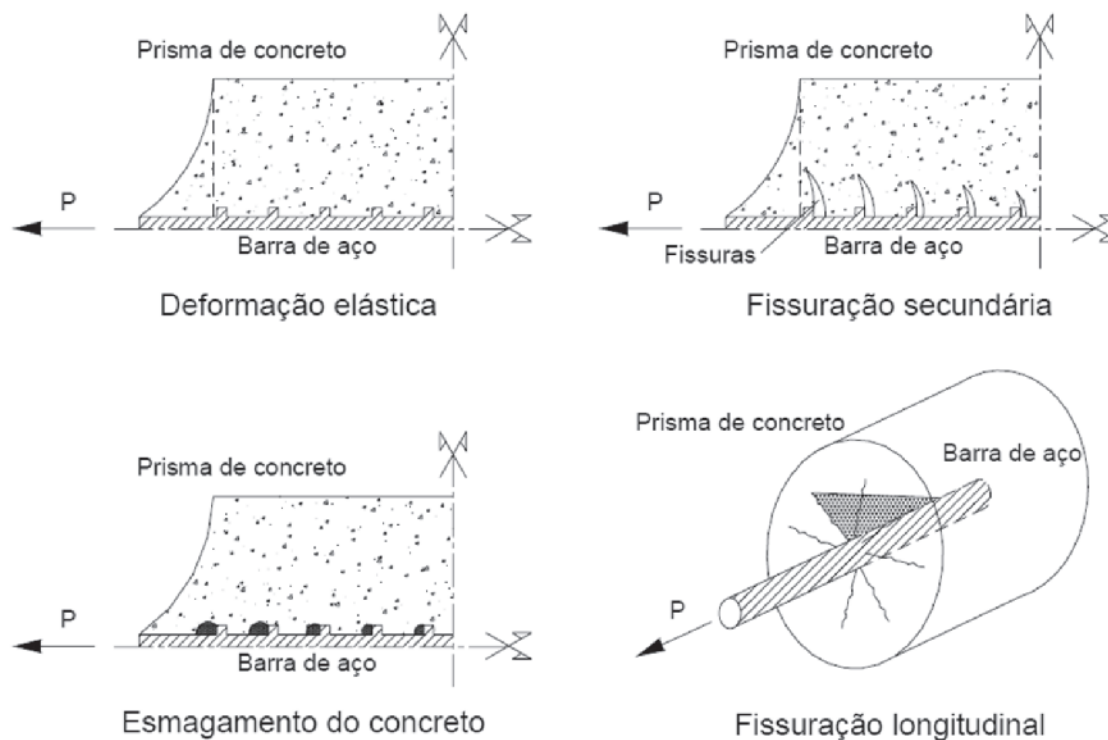


Figura 3

Mecanismos de ruptura da aderência aço-concreto | Fonte: Almeida Filho (16) p. 63

adjacente à barra e também em uma redistribuição de tensões na região de ancoragem. Antes da ruptura, as tensões de aderência se tornam cada vez mais uniformemente distribuídas, de acordo com Castro [19].

Os resultados obtidos através dos ensaios de arrancamento são representados, geralmente, pelos valores médios da tensão de aderência, imaginando-se que, no momento em que acontece o arrancamento, há uma transferência de tensão, que atua em todo o comprimento da barra, para a massa de concreto. Neste caso, pode-se observar que a capacidade de aderência admitida para determinada situação resulta em um valor menor em relação à tensão de aderência que pode ser obtida dentro desses pequenos intervalos de ancoragem. Sendo assim, os valores médios são obtidos com a Equação 1:

$$\tau_b = F_t / (u \cdot l_b) \tag{1}$$

τ_b é a tensão média de aderência (Pa); F_t , a intensidade da força que solicita a barra (N); u , o perímetro da barra envolvida pelo concreto (m); l_b , o comprimento de ancoragem (m).

Leonhardt e Mönning [15] indicam que a resistência de aderência de cálculo, representada por f_{bd} , é definida como a tensão de aderência para a qual ocorre um deslizamento de 0,1 mm na extremidade livre da barra. Portanto, a resistência f_{bd} pode ser dada pela Equação 2.

$$f_{bd} = F_{t(s=0,1mm)} / (u \cdot l_b) \tag{2}$$

$F_{t(s=0,1mm)}$ é a intensidade da força que solicita a barra para que ocorra um deslizamento s igual a 0,1 mm na extremidade da barra (N). Neste caso, a resistência de aderência efetiva, ou seja, a tensão máxima de aderência é bem maior que o valor de cálculo f_{bd} , inclusive para barras com nervuras, que pode atingir até o dobro desse valor e alcançar deslizamentos de até 1 mm. Por questões de segurança, recomenda-se para o dimensionamento um valor bas-

tante afastado da resistência efetiva última, devido aos grandes valores de dispersão da resistência de aderência (CASTRO [19]).

5.1.1 Ensaio de arrancamento segundo a RILEM-FIP-CEB

Um dos ensaios mais conhecidos é o *pull-out-test*, proposto pela RILEM-FIP-CEB [20] e ilustrado pela Figura 4.

De acordo com Castro [19], o ensaio utiliza um corpo de prova cúbico com uma barra centralizada, como indicado na Figura 4. A barra de aço é arrancada do corpo de prova por meio de uma força de tração no lado em que há contato com a placa de apoio, medindo-se o deslocamento da barra em relação ao concreto, na extremidade carregada. A resistência média do concreto à compressão deve estar entre 27 MPa e 33 MPa, e a velocidade de carregamento V_p (em kgf/s) deve ser determinada para cada diâmetro ϕ da barra, com valor em centímetros, por meio da Equação 3.

$$V_p = 5 \cdot \phi^2 \tag{3}$$

A RILEM-FIP-CEB [20] considera como referência a tensão de aderência para um concreto com resistência à compressão de 30 MPa. Pode ser admitida uma tolerância na resistência média do concreto à compressão (f_{cm}) de até 10%. Há uma transformação linear das forças de tração encontradas no ensaio, com o emprego da Equação 4.

$$\tau_b = (0,0637 \cdot F_t \cdot 30) / (\phi^2 \cdot f_{cm}) \tag{4}$$

τ_b é a tensão média de aderência (MPa); F_t , a intensidade da força na barra (kN); ϕ , o diâmetro da barra (mm); f_{cm} , a resistência média do concreto à compressão (MPa).

5.2 Prescrição da ABNT NBR 6118 sobre aderência

A ABNT NBR 6118 [18] determina que, em relação à ancoragem

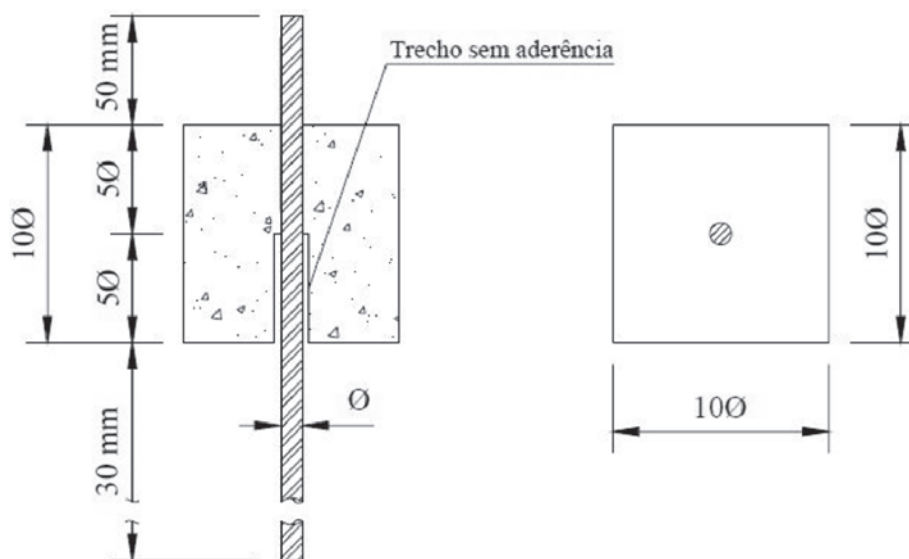


Figura 4

Corpo de prova para o ensaio de arrancamento indicado pela RILEM-FIP-CEB (20)

Fonte: CASTRO (19), p. 55

de armaduras passivas, o cálculo da resistência de aderência (f_{bd}) entre a armadura e o concreto seja feito com a Equação 5. Essa equação fornece a tensão de aderência para um escorregamento de 0,10 mm da barra.

$$f_{bd} = (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}) / \gamma_c \quad (5)$$

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão; γ_c , o coeficiente minorador da resistência do concreto, que em condições de projeto é admitido em geral com o valor de 1,4; η_1 é o parâmetro que considera a rugosidade da barra de aço (1,0 para barras lisas; 1,4 para barras entalhadas; 2,25 para barras nervuradas); η_2 é o parâmetro que considera a posição da barra durante a concretagem (1,0 para situações de boa aderência; 0,7 para situações de má aderência); η_3 é o parâmetro que considera o diâmetro da barra (1,0 para diâmetros $\varphi \leq 32$ mm; $(132-\varphi)/100$, para diâmetros $\varphi > 32$ mm, com φ = diâmetro da barra em mm).

6. Ensaios de arrancamento de barras de aço embutidas em CLEPE

Os ensaios de arrancamento realizados nesta pesquisa totalizaram 60 modelos, incluindo uma dosagem de controle em Concreto Convencional (CC) e três dosagens de CLEPE. A Tabela 1 apresenta as características dos corpos de prova ensaiados no Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, com datas de moldagem e de ensaio e idades do concreto nos dias de ensaio.

6.1 Materiais utilizados

– Concreto comum

Para a fabricação do concreto convencional foi utilizado cimento do tipo CP-V ARI com massa específica aparente

Tabela 1

Características gerais dos corpos de prova dos ensaios de arrancamento

Lote	Número de modelos	Bitola (mm)	Altura de concreto (cm)	Comprimento de aderência (cm)	Idade no ensaio ¹
Ensaio-piloto	2	10	20	15	24 horas
	2	10	30	25	
CLEPE 1º Lote	4	5	9	4	29 e 30 dias ²
	4	6,3	10	5	
	4	8	12	7	
	4	10	14	9	
	4	12,5	16	11	
CLEPE 2º Lote	4	5	9	4	155 dias
	4	6,3	10	5	
	4	8	12	7	
	4	10	14	9	
	4	12,5	16	11	
CLEPE 3º Lote	4	5	5	2,5	127 dias
	4	6,3	6,3	3,15	
	4	8	8	4	
	4	10	10	5	
CC	4	5	9	4	35 e 36 dias ³
	4	6,3	10	5	
	4	8	12	7	
	4	10	14	9	
	4	12,5	16	11	

¹ As idades variaram em função da disponibilidade dos equipamentos de ensaio;

² Os ensaios aos 29 dias foram dos modelos com barras de diâmetros 5 mm, 6,3 mm e 8 mm;

³ Os ensaios aos 35 dias foram dos modelos com barras de diâmetros 5 mm e 6,3 mm.

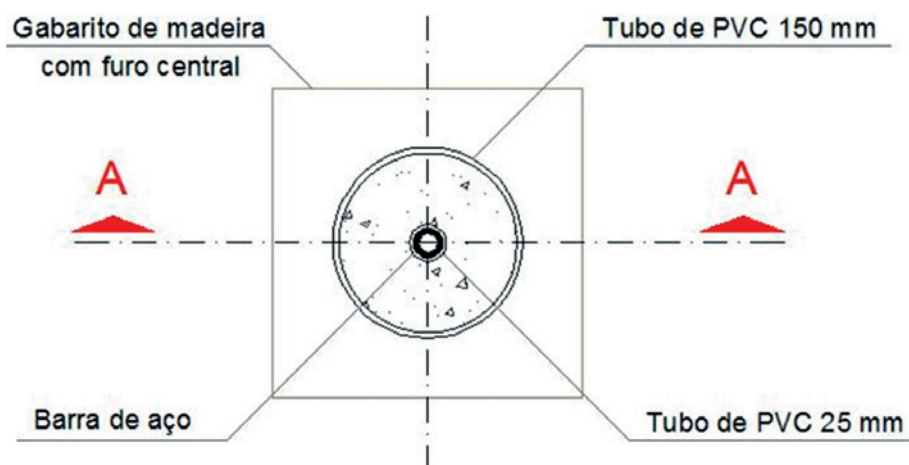


Figura 5
Planta dos modelos

de 1095 kg/m^3 , areia com massa específica aparente de $1628,63 \text{ kg/m}^3$ com dimensão máxima característica de $4,8 \text{ mm}$ e agregado graúdo de origem basáltica com massa específica aparente igual a $2867,63 \text{ kg/m}^3$ e dimensão máxima característica de 19 mm .

O lote único de CC teve dosagem em massa de $1:2,5:2,5:0,5:0,01$ (cimento, areia, brita, água e superplastificante).

A resistência à compressão foi medida em ensaios em corpos de prova cilíndricos de 100 mm por 200 mm , com as extremidades retificadas. Nesses ensaios foram utilizados apoios de aço e a velocidade

de carregamento foi de $2,4 \text{ kN/s}$. A caracterização estática foi feita por meio de ensaios de compressão e de compressão diametral em corpos de prova de mesmas dimensões, e de acordo com as normas ABNT NBR 5739 [21] e ABNT NBR 7222 [22], respectivamente.

– CLEPE

Os materiais utilizados na confecção do CLEPE foram os já descritos neste artigo. As dosagens em massa para cada lote foram:

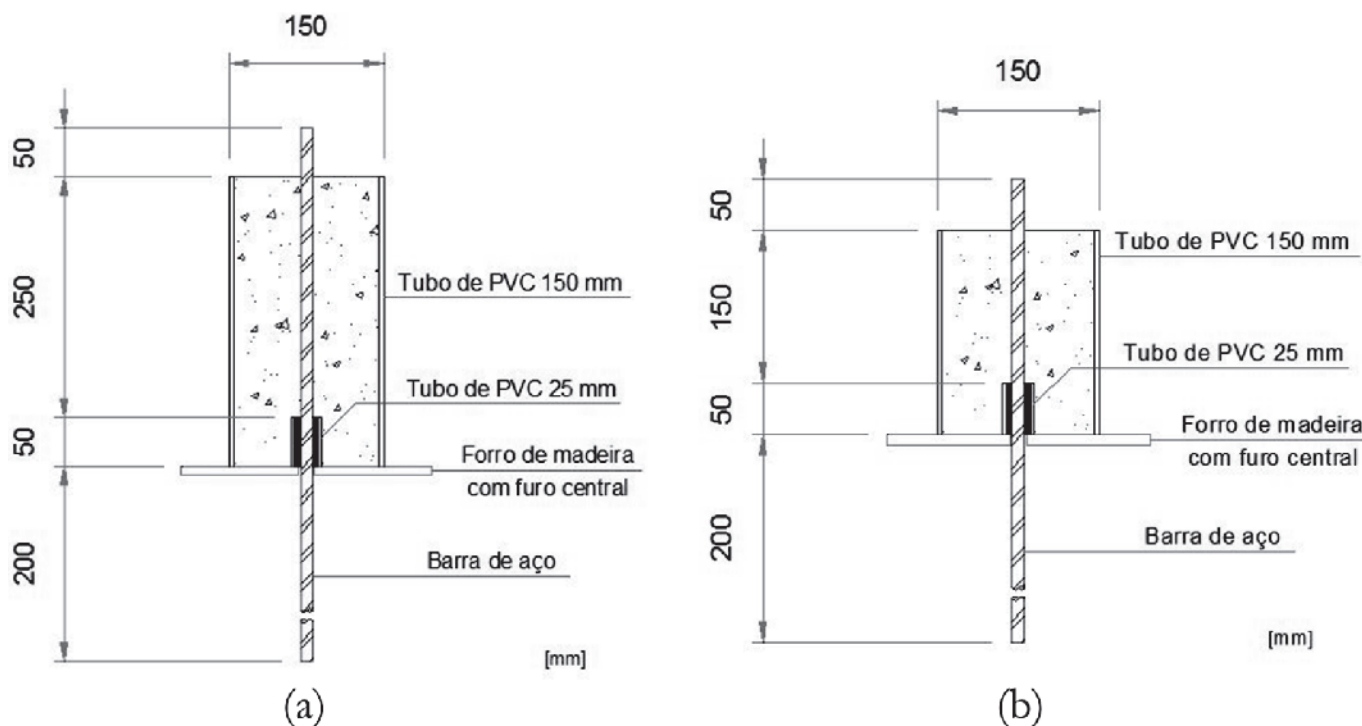


Figura 6
Seção transversal das formas: ensaio-piloto e 1º lote de CLEPE (a); 1º lote de CC (b)

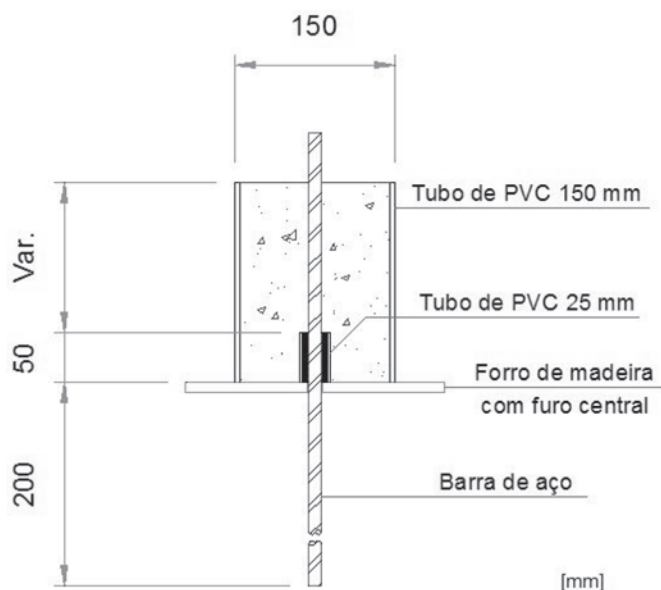


Figura 7
Seção transversal das formas do 2º e do 3º lote de CLEPE

ensaio-piloto e 1º lote – 1:1:0,0296:0,32:0,012 (cimento, areia, EPS, água e superplastificante); 2º lote – 1:1:1,35:0,34:0,013; 3º lote – 1:1:1,5:0,28:0,01. As resistências foram medidas de modo igual ao do CC.

Foram empregadas barras de aço nervuradas de CA-50 e CA-60, com diâmetros nominais de 5 mm (CA-60); 6,3 mm; 8 mm; 10 mm e 12,5 mm (CA-50). A superfície das barras de CA-50 é caracterizada por nervuras transversais, inclinadas em relação ao eixo da barra, e por duas nervuras longitudinais diametralmente opostas, cujos eixos são paralelos ao eixo da barra.

6.2 Geometria dos modelos dos ensaios de arrancamento

O ensaio de arrancamento consiste em prender a peça de concreto e aplicar uma força de tração na barra de aço até que ela escorregue dentro do concreto e/ou provoque seu fendilhamento. Os corpos de prova foram moldados em formas cilíndricas confeccionadas com um tubo de PVC de diâmetro 150 mm. Esses modelos se apoiavam sobre placa de madeira com um furo central, para a passagem da barra de aço. Para minimizar o efeito da pressão transversal que ocorre devido à deformação transversal impedida no prato da prensa, deve ser provido um trecho sem aderência.

Para isso, na moldagem dos corpos de prova, foi utilizado um tubo de PVC com diâmetro de 25 mm e comprimento de 50 mm preenchido com Etil Vinil Acetato (EVA), para evitar que o concreto entre nessa região. As Figuras 5 e 6 ilustram as formas utilizadas para concretagem dos modelos do ensaio-piloto, do 1º lote de CLEPE e do lote único de CC.

Após a execução dos ensaios-piloto, verificou-se que o comprimento de aderência estava excessivo, e foi necessário adaptar os primeiros lotes de CLEPE e de CC. Com o auxílio de uma serra tipo poliacorte com disco diamantado, foi removido um trecho de concreto, modificando sua altura e adaptando-a à mesma altura dos corpos de prova do 2º lote de CLEPE. Para a moldagem dos demais lotes, as alturas das formas variaram em função do diâmetro das barras de aço (50 mm mais cinco vezes o diâmetro da barra). A Figura 7 ilustra a seção transversal das formas utilizadas na moldagem do 2º e do 3º lote de CLEPE. A Figura 8 ilustra a confecção dos corpos de prova dos ensaios de arrancamento.

6.3 Execução dos ensaios

Os corpos de prova foram separados por tipo de concreto e por diâmetro das barras, e foram posicionados na máquina de ensaio (Instron®) na parte superior, com a barra de aço na direção vertical, conforme ilustra a Figura 9.



Figura 8
Confecção dos corpos de prova



Figura 9
Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de arrancamento

Na parte superior do corpo de prova, foi posicionado um transdutor indutivo de deslocamento (Figura 10), e a barra foi fixada pelas garras do equipamento de ensaio. Após isto, foi possível dar início à aplicação de carga, com velocidade de 5 mm/s, e registrar os deslizamentos. A velocidade de deslocamento foi adotado tendo



Figura 10
Posicionamento do transdutor indutivo de deslocamento

em vista a otimização do tempo de uso do equipamento de ensaio.

6.3.1 Ensaios-piloto

Quatro corpos de prova de CLEPE foram separados para serem ensaiados com 24 horas de idade, todos com barra de 10 mm de diâmetro. O CP1 e o CP2, com altura de 300 mm, e o CP3, com altura de 200 mm, resultaram em escoamento da barra. Somente o CP4, com altura de 200 mm, resultou em arrancamento da barra. Assim, verificou-se que o comprimento de aderência estava muito grande e que seria necessário diminuir.

6.3.2 Ensaios definitivos

O plano definitivo dos ensaios de arrancamento foi ajustado para que não ocorresse o escoamento das barras de aço. Com esse objetivo, foram utilizadas as recomendações da RILEM-FIB-CEB [20], que estabelece que o comprimento aderente seja de cinco vezes o diâmetro da barra e que o comprimento não aderente também seja de cinco vezes o diâmetro da barra.

Tabela 3
Caracterização do 1º lote de CC

CP	Compressão		Compressão diametral		Tração	Observações
	F_{ci} (kN)	f_{ci} (MPa)	$F_{ct,sp}$ (kN)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	f_{ct} (MPa)	
1	334,8	42,63	60,4	1,92	1,73	Não segregou
2	348,1	44,33	86,8	2,76	2,49	Não segregou
3	330,2	42,05	105,5	3,36	3,02	Não segregou
4	343,4	43,72	94,0	2,99	2,69	Não segregou
Média	339,13	43,18	86,68	2,76	2,48	-

Legenda válida para as Tabelas 3 a 7: F_{ci} = força de compressão simples; f_{ci} = resistência à compressão simples; $F_{ct,sp}$ = força de compressão diametral; $f_{ct,sp}$ = resistência de compressão diametral; f_{ct} = resistência do concreto à tração direta obtida pela relação 0,9. $f_{ct,sp}$ como indicado na ABNT NBR 6118 (18).

7. Resultados

Os resultados dos ensaios estão divididos em dois grandes grupos. O primeiro refere-se aos ensaios de caracterização do material. No segundo grupo estão os resultados dos ensaios de arrancamento.

7.1 Caracterização dos concretos

– Concreto convencional

Os resultados de caracterização do lote de CC estão apresentados na Tabela 3.

– CLEPE

Os resultados da caracterização do CLEPE do ensaio-piloto, do 1º, do 2º e do 3º lote de CLEPE estão apresentados nas Tabelas 4 a 7, respectivamente. Como o 2º lote de CLEPE apresentou alguma segregação, ele foi descartado.

Tabela 4

Caracterização do CLEPE do ensaio-piloto

CP	Compressão		Compressão diametral		Tração	Observações
	F_{ci} (kN)	f_{ci} (MPa)	$F_{ct,sp}$ (kN)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	f_{ct} (MPa)	
1	9,6	4,90	7,3	0,90	0,81	Não segregou
2	13,0	6,60	8,6	1,10	0,99	Não segregou
Média	11,3	5,75	7,9	1,00	0,90	-

Tabela 5

Caracterização do 1º lote de CLEPE

CP	Compressão		Compressão diametral		Tração	Observações
	F_{ci} (kN)	f_{ci} (MPa)	$F_{ct,sp}$ (kN)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	f_{ct} (MPa)	
1	93,3	11,88	41,7	1,33	1,19	Não segregou
2	79,6	10,13	34,8	1,11	0,99	Não segregou
3	86,3	10,99	34,0	1,08	0,98	Não segregou
4	81,5	10,37	37,4	1,19	1,07	Não segregou
Média	85,2	10,84	36,9	1,18	1,06	-

Tabela 6

Caracterização do 2º lote de CLEPE

CP	Compressão		Compressão diametral		Tração	Observações
	F_{ci} (kN)	f_{ci} (MPa)	$F_{ct,sp}$ (kN)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	f_{ct} (MPa)	
1	18,3	2,33	42,2	1,33	1,20	Segregou
2	18,6	2,36	21,0	0,67	0,60	Não segregou
3	20,5	2,61	19,8	0,63	0,57	Não segregou
4	15,0	1,90	27,0	0,86	0,77	Não segregou
Média	18,1	2,30	27,5	0,87	0,79	-

Tabela 7

Caracterização do 3º lote de CLEPE

CP	Compressão		Compressão diametral		Tração	Observações
	F_{ci} (kN)	f_{ci} (MPa)	$F_{ct,sp}$ (kN)	$f_{ct,sp}$ (MPa)	f_{ct} (MPa)	
1	86,6	11,28	36,0	1,15	1,03	Não segregou
2	103,5	13,18	38,6	1,23	1,11	Não segregou
3	93,8	11,94	38,6	1,23	1,11	Não segregou
4	99,6	12,68	35,2	1,12	1,01	Não segregou
Média	95,9	12,27	37,1	1,18	1,06	-

Tabela 8

Resultados dos ensaios de arrancamento nos ensaios-piloto de CLEPE

CP	$A_{m\acute{a}x}$ (N.m)	A_{5mm} (N.m)	l_b (cm)	$F_{m\acute{a}x}$ (kN)	$F_{0,10mm}$ (kN)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$\tau_{0,10mm}$ (MPa)	f_{bd} (MPa)
1 (20 cm)	1,21	39,43	15	23,3	21,6	4,95	4,58	1,01
2 (20 cm)	1,50	19,04	15	27,9	27,7	5,94	5,88	1,01
1 (30 cm)	1,92	44,95	25	42,9	42,5	5,46	5,41	1,01
2 (30 cm)	6,25	53,64	25	50,1	50,1	6,38	6,38	1,01

Legenda válida para as Tabelas 8 a 11:

 $A_{m\acute{a}x}$ = área abaixo da curva força versus deslizamento, até a força máxima $F_{m\acute{a}x}$ à qual a barra foi submetida; A_{5mm} = área abaixo da curva força versus deslizamento até o deslizamento de 5 mm; $F_{0,10mm}$ = força na qual ocorre 0,10 mm de deslizamento da barra; l_b = comprimento de acoragem da barra; $\tau_{m\acute{a}x}$ = máxima tensão de aderência calculada através de $F_{m\acute{a}x}/(\text{perímetro da barra} \times l_b)$; $\tau_{0,10mm}$ = tensão de aderência para o escorregamento de 0,10 mm calculada por $F_{0,10mm}/(\text{perímetro da barra} \times l_b)$; f_{bd} = resistência de aderência de cculo segundo o item 9.3.2.1 da ABNT NBR 6118 (18).

OBS: Os corpos de prova 1 e 2 de 20 cm e o 1 de 30 cm tiveram a ruptura por escorregamento da barra. O CP 2 de 30 cm teve ruptura por escoamento do aço.

7.2 Ensaios de arrancamento

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios de arrancamento.

7.2.1 Ensaios-piloto

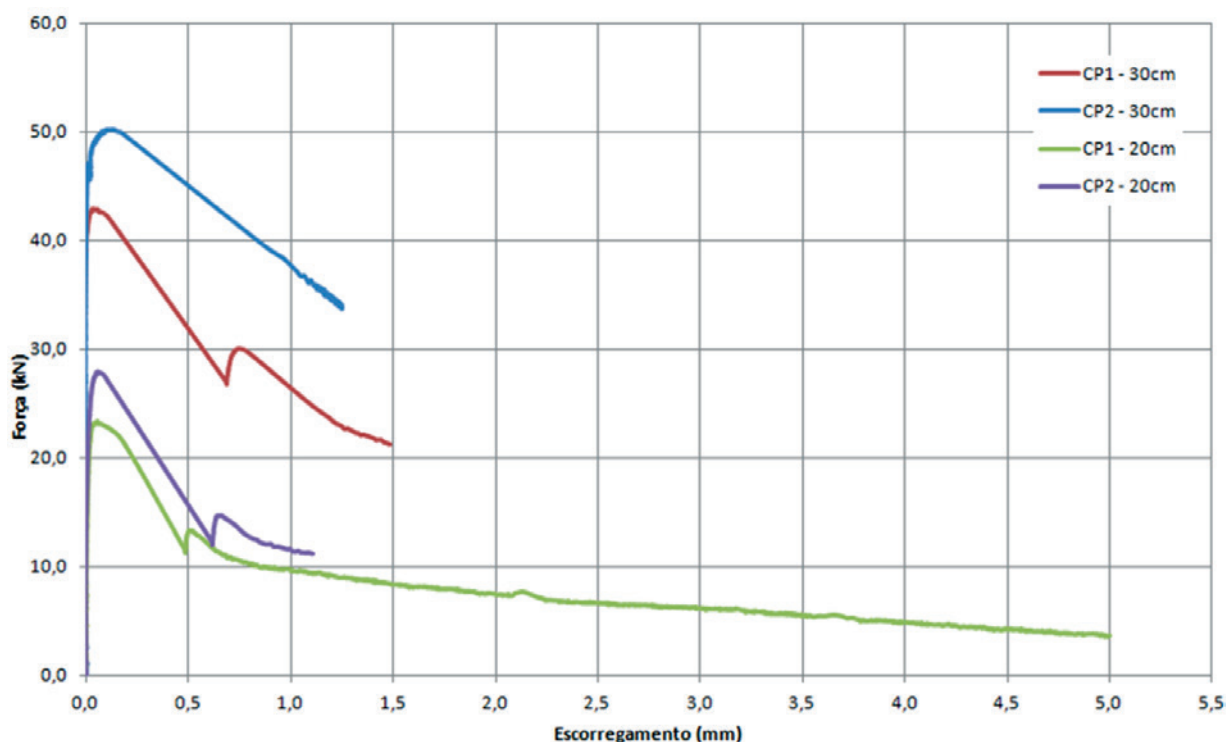
Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios-piloto. Na Figura 11 são apresentadas as curvas experimentais força de aderência versus deslizamento dos modelos-piloto. A tensão média de aderência foi obtida através da Equao 2.

7.2.2 Lote de CC

Na Tabela 9 são apresentados os resultados obtidos para o lote de CC. Na Figura 12 são apresentadas as curvas experimentais força de aderência versus deslizamento.

7.2.3 CLEPE – 1 Lote

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos para o 1 lote de CLEPE. Na Figura 13 são apresentadas as curvas experimentais força de aderência versus deslizamento. A grande variao nos resultados é devida à qualidade não adequada do CLEPE nestes ensaios.

**Figura 11**

Curvas força versus deslizamento do ensaio-piloto

7.2.4 CLEPE – 3° Lote

Na Tabela 11 são apresentados os resultados obtidos para o 3° lote de CLEPE. Na Figura 14 são apresentadas as curvas experimentais força de aderência versus deslizamento.

8. Análise dos resultados

Apresentam-se neste item algumas análises dos resultados dos ensaios.

8.1 Ensaios de Compressão Simples

Os ensaios de compressão simples demonstraram, como esperado, que o CC é mais resistente que o CLEPE. O 2° lote de CC apresentou resistência superior à do 1° lote de CC, o que

se deve à diferença na dosagem.

Os corpos de prova de CLEPE apresentaram resistências consideravelmente inferiores. O 1° e o 3° lote obtiveram resistências próximas. O lote de CLEPE do ensaio-piloto apresentou resistência inferior por ter sido ensaiado com 24 horas de idade. Já o 2° lote sofreu segregação e apresentou valor inferior aos dos demais lotes, sendo descartado no restante da pesquisa. Ressalta-se que o 3° lote de CLEPE foi o que melhor demonstrou as características do CLEPE, pois ele não segregou e apresentou resistência média de 12,27 MPa, maior que os outros, como pode ser visto nas tabelas de 4 a 7.

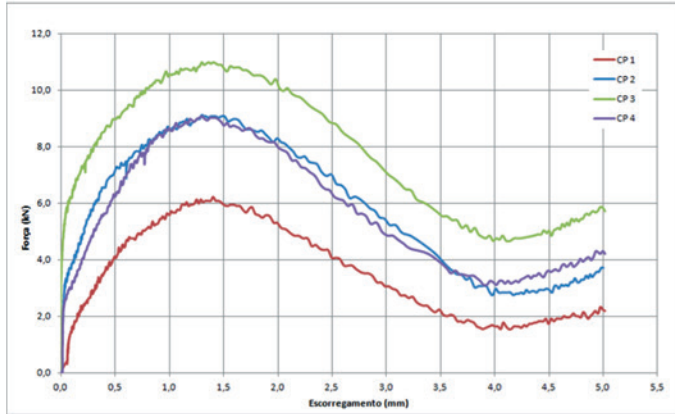
8.2 Ensaios de compressão diametral

Os valores de resistência à compressão diametral foram proporcionais aos referentes a compressão simples. Os lotes mais

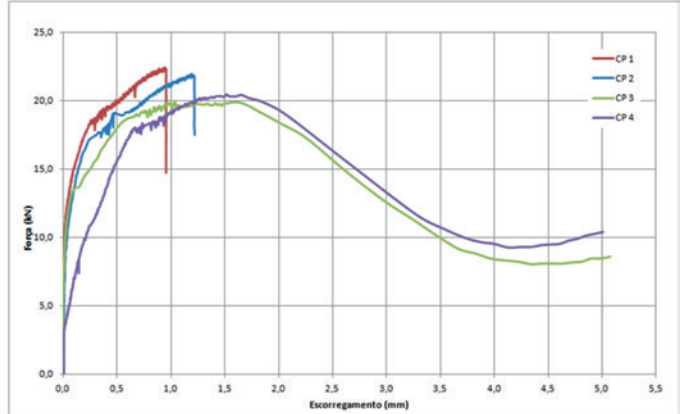
Tabela 9

Resultados dos ensaios de arrancamento com os modelos de CC

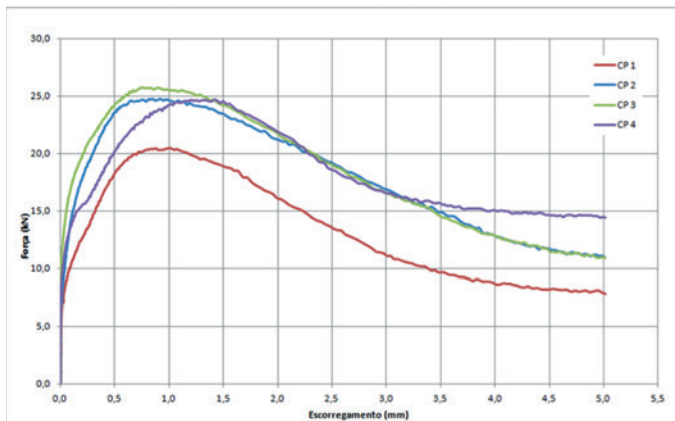
Diâmetro da barra (mm)	CP	$A_{máx}$ (N.m)	A_{5mm} (N.m)	l_b (cm)	$F_{máx}$ (kN)	$F_{0,10mm}$ (kN)	$\tau_{máx}$ (MPa)	$\tau_{0,10mm}$ (MPa)	f_{bd} (MPa)
5	1	6,26	17,82	4	6,23	1,47	9,91	2,34	2,79
	2	9,38	29,28	4	9,11	3,85	14,50	6,13	2,79
	3	12,73	39,03	4	10,99	6,18	17,49	9,84	2,79
	4	12,03	39,03	4	10,99	6,18	17,49	9,84	2,79
	Média	10,10	31,29	-	9,33	4,42	14,85	7,03	2,79
6,3	1	17,92	18,21	5	22,43	15,11	22,67	15,27	2,79
	2	22,20	22,64	5	21,93	13,64	22,16	13,78	2,79
	3	30,30	70,97	5	19,87	13,55	20,08	13,69	2,79
	4	24,83	71,03	5	20,47	7,05	20,68	7,12	2,79
	Média	23,81	45,71	-	21,17	12,34	21,40	12,47	2,79
8	1	16,97	67,07	7	20,47	10,48	11,63	5,96	2,79
	2	19,90	90,08	7	24,72	14,38	14,05	8,17	2,79
	3	16,70	92,24	7	25,78	17,08	14,65	9,71	2,79
	4	30,04	92,56	7	24,68	13,74	14,03	7,81	2,79
	Média	20,90	85,49	-	23,91	13,92	13,59	7,91	2,79
10	1	34,15	126,88	9	37,72	17,08	13,34	6,04	2,79
	2	40,84	189,90	9	47,93	26,97	16,95	9,54	2,79
	3	25,40	176,02	9	47,06	29,30	16,65	10,36	2,79
	4	27,42	135,16	9	35,21	11,72	12,45	4,15	2,79
	Média	31,95	156,99	-	41,98	21,27	14,85	7,52	2,79
12,5	1	88,84	104,66	11	62,17	31,36	14,39	7,26	2,79
	2	41,36	41,36	11	61,30	38,73	14,19	8,97	2,79
	3	48,35	108,81	11	66,38	39,05	15,37	9,04	2,79
	4	83,88	199,10	11	65,51	31,22	15,17	7,23	2,79
	Média	65,61	113,49	-	63,84	35,09	14,78	8,12	2,79



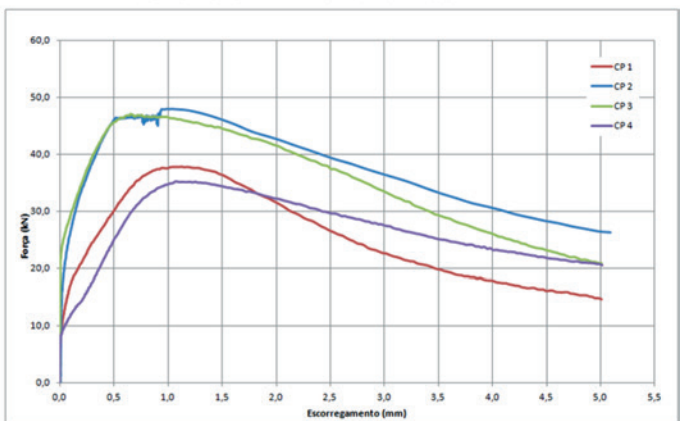
Barras de 5 mm de diâmetro



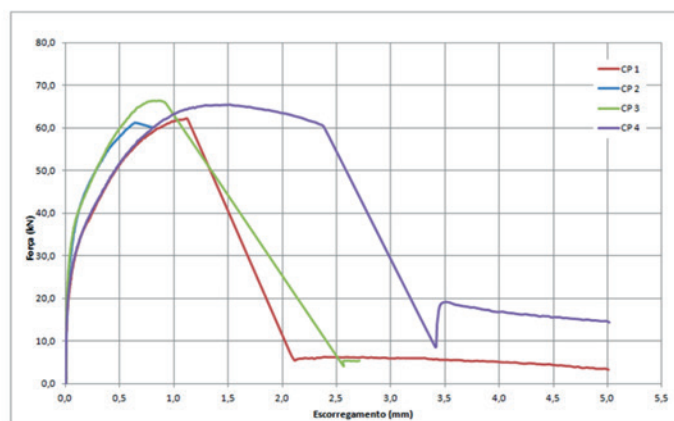
Barras de 6,3 mm de diâmetro



Barras de 8 mm de diâmetro



Barras de 10 mm de diâmetro



Barras de 12,5 mm de diâmetro

Figura 12
Curvas força versus deslizamento do lote de CC

resistentes à compressão simples também são mais resistentes à compressão diametral, o que demonstra uma relação entre essas duas variáveis.

8.3 Ensaios de arrancamento

As resistências médias de aderência estão reproduzidas na Tabela 12. Através desses resultados, percebe-se que os valores de $\tau_{0,10\text{mm}}$ obtidos experimentalmente são consideravelmente superiores aos valores de f_{bd} baseados na ABNT NBR 6118 [18]. Essa diferença foi maior para o CLEPE do que para o CC.

Uma observação interessante é a diferença entre $\tau_{máx}$ e $\tau_{0,10\text{mm}}$, que para o CC está em torno de 50%, e para o CLEPE, de 0,6% a 6,5%. Isso indica que o CC tem uma reserva de resistência de aderência, após o escorregamento de 0,10 mm, bem maior que o CLEPE. Essa reserva de resistência é comprovada pela tena-

cidade (área sob a curva força versus deslocamento), que é bem maior no CC do que no CLEPE.

Os valores dos ensaios aqui apresentados para CC são próximos dos de Castro [19], que encontrou uma diferença entre $\tau_{0,10\text{mm}}$ e f_{bd} de 156% para concretos de alta resistência (resistência média do concreto à compressão igual a 86 MPa).

Barras com nervuras maiores e consequentemente com diâmetros maiores têm a ruptura caracterizada por deslizamento do aço e fendilhamento do concreto, como pode ser observado para as barras com 12,5 mm de diâmetro.

Pode-se ver pela diferença entre $\tau_{0,10\text{mm}}$ e f_{bd} e a relativa a $\tau_{máx}$ e $\tau_{0,10\text{mm}}$ que a ABNT NBR 6118 [18] é bastante conservadora para CC. Porém, isso não acontece para o CLEPE, pelo fato de $\tau_{0,10\text{mm}}$ ser muito próximo de $\tau_{máx}$. A literatura técnica justifica a posição conservadora das normas pelo fato da grande dispersão existente nos ensaios até hoje realizados.

Tabela 10

Resultados dos ensaios de arrancamento com os modelos do 1º Lote de CLEPE

Diâmetro da barra (mm)	CP	$A_{máx}$ (N.m)	$A_{5\text{mm}}$ (N.m)	l_b (cm)	$F_{máx}$ (kN)	$F_{0,10\text{mm}}$ (kN)	$\tau_{máx}$ (MPa)	$\tau_{0,10\text{mm}}$ (MPa)	f_{bd} (MPa)
5	1	0,51	12,93	4	4,08	3,75	6,49	5,97	1,19
	2	5,19	19,17	4	5,59	4,67	8,89	7,43	1,19
	3	0,76	15,61	4	6,41	6,27	10,20	9,98	1,19
	4	6,74	21,94	4	6,73	2,79	10,71	4,44	1,19
	Média	3,30	17,41	-	5,70	4,37	9,07	6,96	1,19
6,3	1	1,03	33,27	5	12,96	12,95	13,09	13,09	1,19
	2	0,88	13,94	5	9,29	8,88	9,39	8,97	1,19
	3	1,50	41,60	5	13,64	13,37	13,79	13,51	1,19
	4	2,28	24,41	5	12,22	11,49	12,35	11,61	1,19
	Média	1,42	28,30	-	12,03	11,67	12,16	11,80	1,19
8	1	3,23	41,59	7	23,40	22,80	13,30	12,96	1,19
	2	1,19	37,56	7	19,96	19,87	11,35	11,29	1,19
	3	3,91	35,42	7	19,37	19,37	11,01	11,01	1,19
	4	7,68	41,43	7	20,65	20,60	11,74	11,71	1,19
	Média	4,00	39,00	-	20,84	20,66	11,85	11,74	1,19
10	1	24,73	75,50	9	36,12	34,98	12,78	12,37	1,19
	2	3,38	65,02	9	30,08	29,48	10,64	10,43	1,19
	3	4,57	76,06	9	38,55	38,37	13,63	13,57	1,19
	4	18,38	62,92	9	30,40	28,75	10,75	10,17	1,19
	Média	12,77	69,88	-	33,79	32,90	11,95	11,63	1,19
12,5	1	9,15	124,74	11	46,38	44,36	10,74	10,27	1,19
	2	10,67	117,13	11	47,38	42,67	10,97	9,88	1,19
	3	3,85	108,39	11	37,27	36,81	8,63	8,52	1,19
	4	7,21	140,57	11	42,07	39,46	9,74	9,13	1,19
	Média	7,72	122,71	-	43,28	40,83	10,02	9,45	1,19

Tabela 11

Resultados dos ensaios de arrancamento com os modelos do 3° Lote de CLEPE

Diâmetro da barra (mm)	CP	$A_{m\acute{a}x}$ (N.m)	A_{5mm} (N.m)	l_b (cm)	$F_{m\acute{a}x}$ (kN)	$F_{0,10mm}$ (kN)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$\tau_{0,10mm}$ (MPa)	f_{bd} (MPa)
5	1	2,30	7,75	2,5	5,31	5,31	13,52	13,52	1,19
	2	1,43	8,08	2,5	5,81	5,54	14,81	14,11	1,19
	3	2,01	12,01	2,5	6,68	6,50	17,02	16,65	1,19
	4	0,42	11,45	2,5	4,26	4,26	10,84	10,85	1,19
	Média	1,54	9,82	-	5,52	5,40	14,05	13,76	1,19
6,3	1	0,70	5,84	3,15	8,06	8,06	12,92	12,93	1,19
	2	0,53	8,53	3,15	7,78	7,65	12,48	12,27	1,19
	3	3,08	13,47	3,15	8,74	8,74	14,03	14,02	1,19
	4	0,48	13,87	3,15	7,69	7,65	12,34	12,27	1,19
	Média	1,20	10,43	-	8,07	8,03	12,94	12,87	1,19
8	1	2,04	27,54	4	15,89	15,89	15,80	15,81	1,19
	2	1,32	22,15	4	13,09	13,09	13,02	13,02	1,19
	3	0,88	30,77	4	14,24	14,15	14,16	14,08	1,19
	4	4,61	20,94	4	12,59	12,59	12,52	12,52	1,19
	Média	2,21	25,35	-	13,95	13,93	13,88	13,86	1,19
10	1	4,73	22,16	5	17,17	17,16	10,93	10,92	1,19
	2	12,24	36,39	5	21,52	21,52	13,70	13,70	1,19
	3	10,47	32,94	5	20,69	20,69	13,17	13,17	1,19
	4	11,50	34,37	5	18,86	18,86	12,01	12,01	1,19
	Média	9,74	31,47	-	19,56	19,56	12,45	12,45	1,19

Outra comparação pode ser feita entre a resistência média de compressão (valores nas Tabelas 3 a 7) e as tensões médias de aderência $\tau_{m\acute{a}x}$ e $\tau_{0,10mm}$ (Tabela 12), mostradas na Tabela 13. Observa-se que a ordem de grandeza das tensões de aderência do CLEPE são próximas a sua resistência à compressão, enquanto que o CC possui uma relação bem diferente.

9. Conclusão

O desenvolvimento das pesquisas sobre novos materiais é de grande importância para o aperfeiçoamento da construção civil de modo geral. A utilização correta do concreto leve estrutural leve com pérolas de EPS (CLEPE), por exemplo, possibilita a execução de estruturas mais leves, aliviando as cargas das estruturas de fundação e gerando economia, sem comprometer segurança e conforto.

Ao se fazer uma pesquisa bibliográfica sobre o CLEPE, é importante salientar que o número de trabalhos que tratam desse concreto é pequeno, por ser um material novo e não ser ainda amplamente utilizado. Portanto, há necessidade de mais pesquisas sobre o assunto.

Para o concreto convencional (CC), os resultados obtidos nos ensaios experimentais demonstraram que a ABNT NBR 6118 [18]

especifica valores conservadores para a resistência de aderência. Observou-se, ainda, que a tensão máxima de aderência do CLEPE é aproximadamente igual à sua resistência à compressão, enquanto o CC apresenta $\tau_{m\acute{a}x}$ muito superior a $\tau_{0,10mm}$, devido à sua tenacidade ser maior. Os resultados indicam que a ordem de grandeza da resistência à compressão do CLEPE é próxima da sua tensão de aderência $\tau_{0,10mm}$.

Conclui-se que o CLEPE apresenta capacidade de aderência menor que o CC, o que era de se esperar, pela sua menor resistência. Entretanto, a capacidade de aderência menor não inviabiliza sua utilização, apenas demonstra que essa característica do material deve ser utilizada criteriosamente pelo engenheiro ao calcular uma estrutura com CLEPE.

Também foi verificada a importância da correta preparação do concreto, pois o 2° lote de CLEPE sofreu segregação devida ao excesso de vibração.

Para se alcançarem os valores obtidos neste trabalho, foram realizados ensaios de arrancamento sob ação monotônica. Mas ainda há necessidade de analisar modelos que representem a aderência entre aço e CLEPE em ensaios dinâmicos.

Os ensaios de aderência entre barras de aço e CLEPE têm objetivo de contribuir com os cálculos necessários nas situações de ancoragem de barras de aço em estruturas com CLEPE.

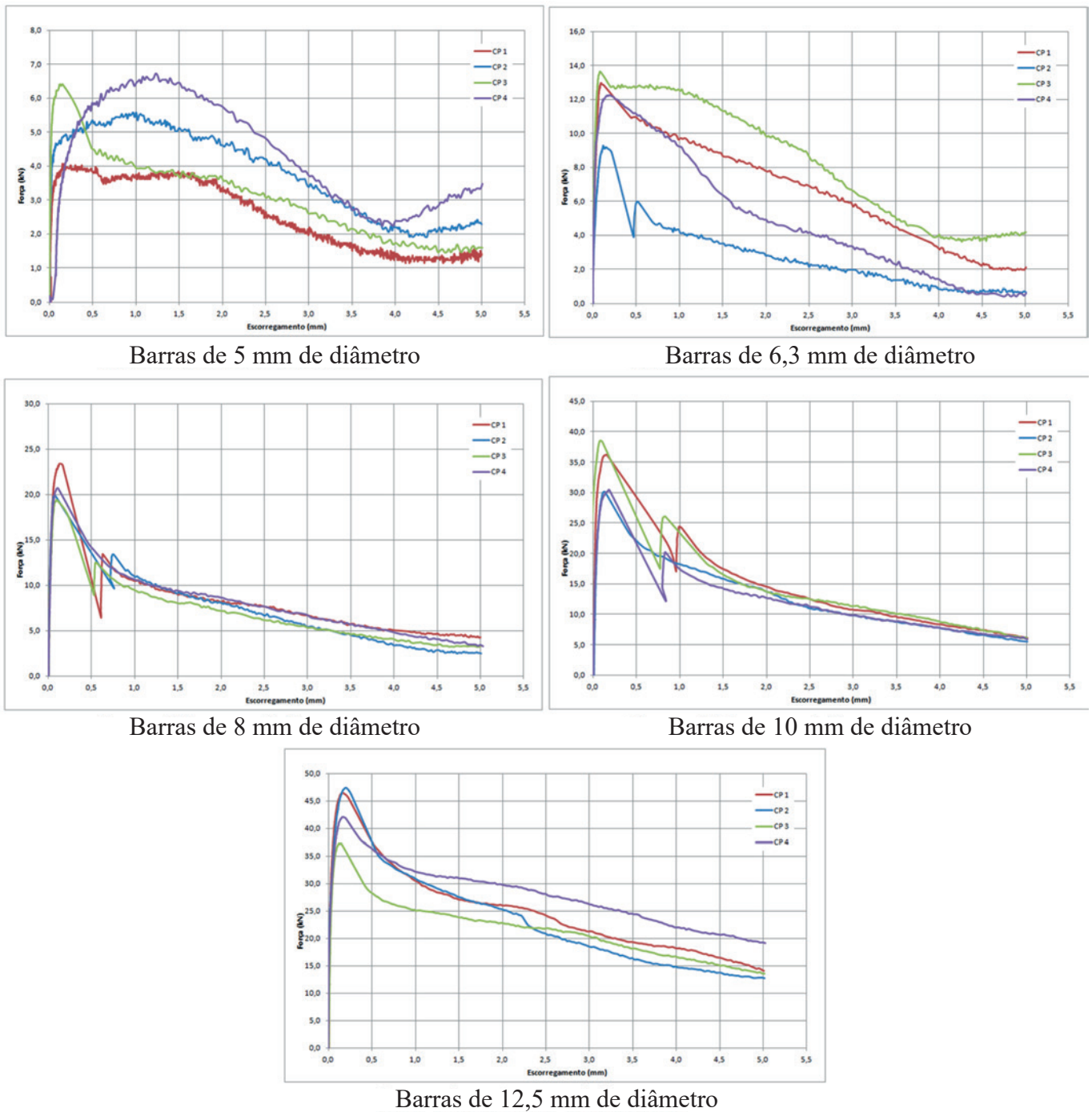


Figura 13
Curvas força versus deslizamento do 1º lote de CLEPE

Cabe salientar, entretanto, que os ensaios aqui analisados não devem ser encarados como suficientes para formular teorias e pressupostos de cálculo. Trabalhos complementares devem ser elaborados.

10. Referências

- [1] SILVA, R. M.; FREITAS, S. B.; CESAR, T. G. (2014). Estudo da aderência entre barras de aço e concreto leve com pérolas de poliestireno expandido (EPS). 105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação) – Centro Universitário Adventista de São Paulo, Engenheiro Coelho, 2014.
- [2] CATOIA, T. (2012). Concreto Ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. 154f. Tese (Doutorado) – Escola e Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- [3] NEVILLE, A. M. (1996). Properties of concrete. 4.ed. John Wiley & Sons, 1996.
- [4] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI 213R-87: Guide for structural lightweight aggregate concrete, 1995.
- [5] SBRIGHI NETO, C. (2011). Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. v.1. 1.ed. São Paulo: Ibracon. Cap.7, p.231-260.
- [6] AÏTCIN, P. C. (1998). High-performance concrete. Spons Architecture Price Book.
- [7] ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. (2005). Concreto estrutural leve. In: ISAIA, G. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. v.2. 1.ed. São Paulo: Ibracon. Cap.43, p.1331-1362.
- [8] ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. (2011). Concreto leve estrutural. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. v.2. 1.ed. São Paulo: Ibracon. Cap.42, p.1531-1568.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). (2006). Manual de utilização do EPS na construção civil. São Paulo: Pini.
- [10] CHEN, B.; LIU, J.; CHEN, L. (2010). Experimental study of lightweight expanded polystyrene aggregate concrete containing silica fume and polypropylene fibers. J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci), Shanghai, v.15, n.2, p.129-137.
- [11] SARTORI, A. L. Comportamento Dinâmico de Lajes Maças de Concreto Leve com Pérolas de EPS. 251p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

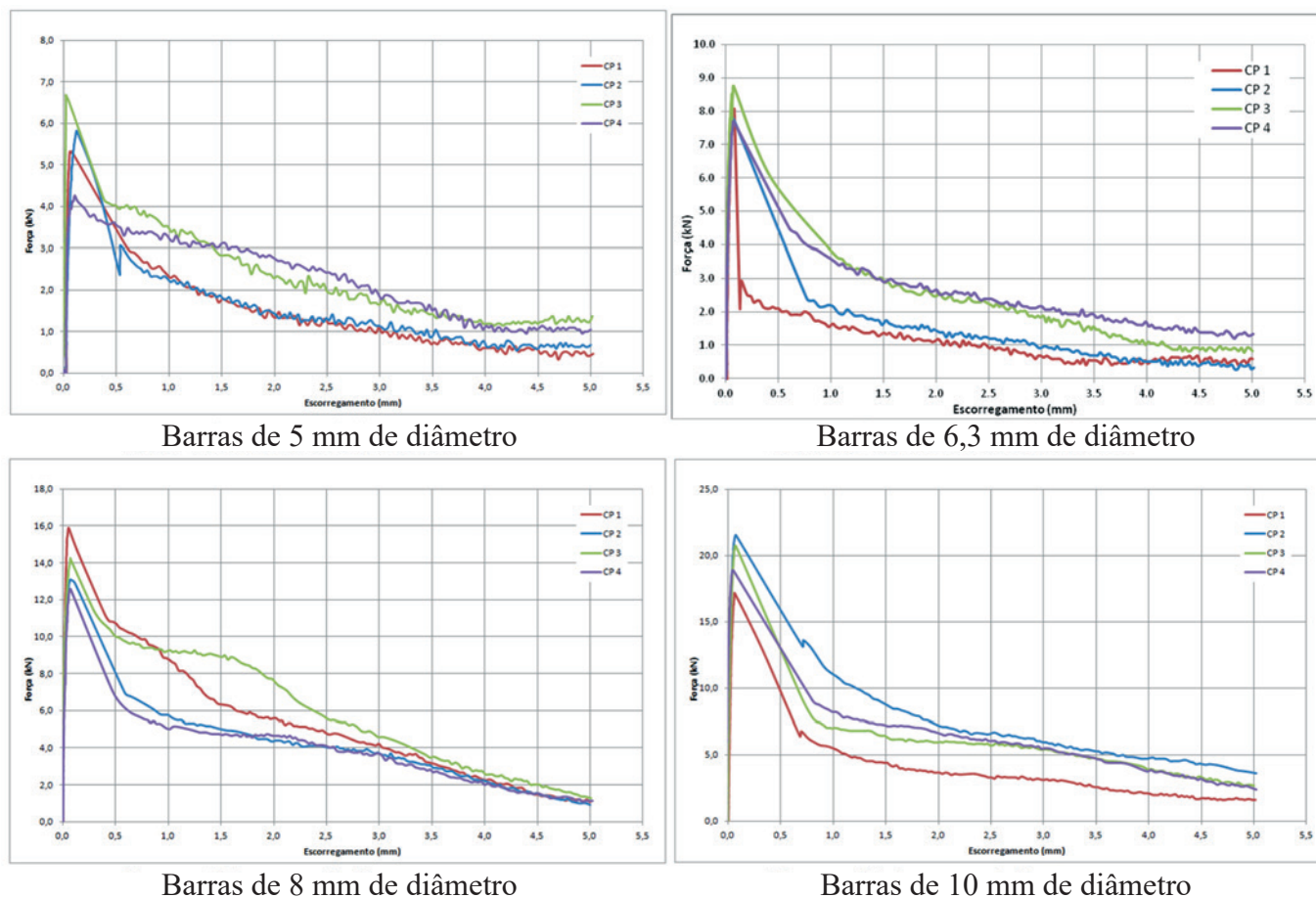


Figura 14

Curvas força versus deslizamento do 3º lote de CLEPE

- [12] MOMTAZI, A. S. et al. (2010). Durability of lightweight concrete containing EPS in salty exposure conditions. In: International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 2., 2010, Ancona. Proceedings... Ancona: Università Politecnica delle Marche. p.1-10.
- [13] SANT'HELENA, M. (2009). Estudo para aplicação de

Tabela 12

Valores médios para os ensaios de arrancamento

Lote	Diâmetro da barra (mm)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$\tau_{0,10mm}$ (MPa)	f_{bd} (MPa)	Forma de ruptura	$\tau_{0,10mm}/f_{bd}$
CC	5	14,85	7,03	2,79	Escorregamento da barra	2,52
	6,3	21,4	12,47	2,79	Escoamento da barra e posterior escorregamento	4,47
	8	13,59	7,91	2,79	Escorregamento da barra	2,84
	10	14,85	7,52	2,79	Escoamento da barra e posterior escorregamento	2,70
	12,5	14,78	8,12	2,79	Escorregamento da barra com fendilhamento do concreto	2,91
	Média do lote	15,89	8,61 (-45,81%) ¹	2,79	-	3,09
CLEPE 1º lote	5	9,07	6,96	1,19	Escorregamento da barra	5,85
	6,3	12,16	11,80	1,19	Escorregamento da barra	9,92
	8	11,85	11,74	1,19	Escorregamento da barra	9,87
	10	11,95	11,63	1,19	Escorregamento da barra	9,77
	12,5	10,02	9,45	1,19	Escorregamento da barra com fendilhamento do concreto	7,94
	Média do lote	11,01	10,32 (-6,27%) ¹	1,19	-	8,67
CLEPE 3º lote	5	14,05	13,76	1,19	Escorregamento da barra	11,56
	6,3	12,94	12,87	1,19	Escorregamento da barra	10,82
	8	13,88	13,86	1,19	Escorregamento da barra	11,50
	10	12,45	12,45	1,19	Escorregamento da barra	10,46
	Média do lote	13,33	13,24 (-0,68%) ¹	1,19	-	11,13
CLEPE Ensaio-piloto	10	5,45	5,23 (-4,04%) ¹	1,01	Escoamento da barra e posterior escorregamento	5,18

¹ Percentage of difference between $\tau_{0,10mm}$ and $\tau_{m\acute{a}x}$

Tabela 13Comparação da resistência média à compressão (f_{cm}) com as tensões de aderência

Lote	f_{cm} (MPa)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	$\tau_{0,10mm}$ (MPa)	$f_{cm}/\tau_{m\acute{a}x}$	$f_{cm}/\tau_{0,10mm}$
CC	43,18	15,89	8,61	2,72	5,02
CLEPE 1º Lote	10,84	11,01	10,32	0,98	1,05
CLEPE 3º Lote	12,27	13,33	13,24	0,92	0,93
CLEPE Ensaio-piloto	5,75	5,45	5,23	1,06	1,10

- poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas. 87f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Santa Catarina, 2009.
- [14] PORTO, V. K. J. (2010). Análise experimental de concreto leve estrutural em função dos agregados graúdos. 92f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Adventista de São Paulo, Engenheiro Coelho, 2010.
- [15] LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. (1977). Construções de Concreto v.1. Rio de Janeiro: Interciência. 305p.
- [16] ALMEIDA FILHO, F. M. (2006). Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis. Tese de doutorado. São Carlos, EESC – SET (USP), 2006. 310p.
- [17] FUSCO, P. B. (1995) Técnica de armar as estruturas de concreto. São Paulo. PINI. 382p.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro.
- [19] CASTRO, C. M. (2012). Concreto de alto desempenho: estudo da aderência com a armadura sob ações repetidas. São Carlos, 2002. 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.
- [20] RILEM-FIP-CEB. (1973). Bond test for reinforcing steel. 1. Beam test (7-II-28 D). 2. Pull-Out Test (7-II-128). Tentative Recommendations. RILEM Journal Materials and Structures, v.6, n.32, p.96-105. Mar./Apr. 1973.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011). NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro.