

# ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DA FORMA E DO CAPEAMENTO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO CONVENCIONAL E DE ALTO DESEMPENHO NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Guilherme Augusto do Nascimento Amorim ([gui.amorim10@gmail.com](mailto:gui.amorim10@gmail.com)); Paulo Victor Campos Guimarães ([paulovictorcamosg@gmail.com](mailto:paulovictorcamosg@gmail.com)); José Luiz Pinheiro Melges ([jlmelges@dec.feis.unesp.br](mailto:jlmelges@dec.feis.unesp.br)); Jorge Luís Akasaki ([akasaki@dec.feis.unesp.br](mailto:akasaki@dec.feis.unesp.br)); Mauro Mitsuuchi Tashima ([mmtashima@dec.feis.unesp.br](mailto:mmtashima@dec.feis.unesp.br)); Guilherme Gutierrez ([gui.gutierrez17@gmail.com](mailto:gui.gutierrez17@gmail.com))

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira (UNESP-FEIS) - Brazil

**Palavras chave:** Capeamento, cimento Portland, resistência à compressão, efeito de forma.

*O concreto é o material mais utilizado na construção civil. É importante conhecer sua composição e suas características para que ele possa ser empregado do modo mais econômico e seguro possível. Características como trabalhabilidade, permeabilidade e resistência à compressão são, possivelmente, as que definem de forma mais abrangente a qualidade de um concreto, sendo a resistência a mais utilizada como indicativo qualitativo do concreto endurecido. Muito tem sido discutido em relação à forma como se mede a resistência à compressão de um elemento de concreto. Embora normatizado, o ensaio possui algumas variações possíveis, nas quais o resultado pode sofrer influência indireta, independente da qualidade objetiva do concreto no corpo de prova. Variações como velocidade do carregamento, tamanho e forma dos corpos de prova, tipo de capeamento e regularização das faces de aplicação da carga podem interferir no valor final obtido. Neste trabalho, estudaram-se as relações entre os padrões de forma e dimensão, além dos tipos de capeamento mais utilizados no meio técnico-científico, tanto para concreto convencional quanto para concreto de alto desempenho, comparando-se os resultados obtidos com estudos preliminares e literatura especializada. Os valores obtidos na análise comparativa de forma e dimensão apresentaram-se consistentes com os encontrados na literatura, com exceção dos corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm, que apresentaram resultados menores que os seus de 15x30cm. A comparação do capeamento aponta resultados ligeiramente maiores em corpos de prova capeados em relação aos que foram retificados. Os concretos de alto desempenho apresentaram resultados similares de capeamento e retificação, porém com valores menos dispersos em torno da média.*

## 1. INTRODUÇÃO

Sendo o concreto o material mais largamente utilizado na indústria da construção civil, o seu aprimoramento tecnológico é objeto de incessantes estudos e interesse da comunidade científica em torno da construção civil. Tanto em razão dos testes de qualidade de concretos usuais, quanto pelo estudo da influência de novas técnicas e adições, faz-se necessário o conhecimento das características e propriedades do material.

A determinação da resistência de uma amostra de concreto é provavelmente o ensaio mais importante a ser realizado, por sua relação com as demais propriedades do concreto. Propriedades essas que, de forma geral, partilham das mesmas características formadoras, permitindo que, a partir do resultado da resistência, seja determinada a sua qualidade geral.

Este controle de qualidade é feito a partir de ensaios de compressão axial simples em corpos de prova, regido no Brasil pela norma NBR 5739 (ABNT,2007).

Relação entre água e cimento, qualidade dos agregados e uso de adições são os fatores de interesse na determinação da capacidade resistiva do elemento, tendo os principais papéis no fornecimento desta resistência. Deveriam ser eles, portanto, as únicas variáveis estudadas no processo de ensaio.

No entanto, autores sugerem que efeitos de confecção, tratamento e ensaio podem influenciar resultados, alterando a resistência aparente do elemento ensaiado. Como exemplo, velocidade de carregamento, o processo de cura, tamanho e dimensões do corpo de prova além da regularidade das superfícies onde o carregamento é aplicado interferem na aferição dos valores finais de resistência conforme Mehta e Monteiro (2008), Neville (2016) e Petrucci (1978).

No Brasil, o corpo de prova padrão é o cilindro de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, sendo comuns outras variações que apresentam uma relação altura/diâmetro nunca maior que 2,02 (ABNT,2007). Outros formatos, como cubos e prismas também são comuns.

Petrucci (1978) aponta que a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos corresponde a cerca de 80% da resistência dos corpos de prova cúbicos, conforme mostrado na tabela 1. Neville (2016) cita valores similares para relação de resistência entre cilindros e cubos, salientando que estas relações não são simples de serem analisadas e que estes valores são mais sensíveis quanto maiores forem os valores de resistência do concreto ensaiado.

**Tabela 1.** Coeficientes de conversão da resistência  
tomando-se como referência o corpo de prova cilíndrico.

| Tipo de corpo de prova | Dimensões | Coeficiente de Correção ao Corpo de Prova Cilíndrico 15x30cm |             |
|------------------------|-----------|--|-------------|
|                        |           | Variação   | Valor Médio |
| Cilíndrico             | 15x30     | -  | 1,00        |
|                        | 10x20     | 0,94 - 1,00  | 0,97        |
|                        | 25x50     | 1,00 - 1,10  | 1,05        |
| Cúbico                 | 10        | 0,70 - 0,90  | 0,80        |
|                        | 15        | 0,70 - 0,90  | 0,80        |
|                        | 20        | 0,75 - 0,90  | 0,83        |
|                        | 30        | 0,80 - 1,00  | 0,90        |
| Prismático             | 15x15x45  | 0,90 - 1,20  | 1,05        |
|                        | 20x20x60  | 0,90 - 1,20  | 1,05        |

(Fonte: adaptado de PETRUCCI, 1978, p. 97)

Pode-se notar que, de maneira geral, espécimes maiores apresentam resistências menores, fator que pode ser explicado pela maior incidência de poros em maiores quantidades de concreto (Isaia, 2005). Neville (2016) afirma ser lógico esperar que dentro de uma amostra de maior volume haja uma maior a probabilidade de que um elemento tenha uma resistência inferior e, portanto, limitante. Essa probabilidade diminui para misturas mais homogêneas e desaparece depois de certas medidas, não havendo decréscimo de resistência para peças maiores que 457 mm de diâmetro. Yi, Yang e Choi (2006) indicam que concretos de alta resistência sofrem menor efeito de formato e de dimensões que concretos convencionais.

Mehta e Monteiro (2008) identificam também que mudanças na geometria, como a razão altura/diâmetro, alteram os valores finais de resistência, apontando resistências menores para razões maiores. Neville (2016) indica que concretos de maiores resistências sofrem menores variações devido às variações de forma e proporções, e afirma que, para cilindros com a razão altura/diâmetro próximas de 1, seus valores se aproximam consideravelmente dos valores de resistência de cubos equivalentes.

Outras pesquisas corroboram a afirmação de Neville, na qual os efeitos de forma e dimensão são mais pronunciados em concretos de baixa resistência, apontando também que, em corpos de prova com razão altura/diâmetro igual ou menor a 1, esta tendência é mais notável (Dehestani, Nikbin e Asadollahi, 2014). No entanto, para o Concreto de Alto Desempenho (CAD), a tendência de elementos de maiores volumes obterem resultados menores ainda é presente (Del Viso, Carmona e Ruiz, 2008).

O trabalho de Muciaccia, Rosati e Di Luzio (2017) estudou o efeito de dimensão em corpos cilíndricos com a razão altura/diâmetro variável, constatando uma resistência média final do maior corpo de prova correspondente a 42% da resistência média do menor.

No contexto de preparação dos corpos de prova, os espécimes cilíndricos apresentam uma desvantagem: a face superior do cilindro fica exposta, durante a moldagem, tornando-se rugosa e interferindo no contato com os pratos da máquina de ensaio (Isaia, 2005). Em tais circunstâncias, o surgimento de concentrações de tensões reduz a resistência aparente do concreto (Neville, 2016). Qualquer tipo de desalinhamento pode provocar um estado de tensão diferente do da compressão axial, onde as faces convexas apresentam os piores resultados por gerar uma maior concentração de tensões que as faces côncavas. Estas perdas de resistência aparente são mais visíveis em concretos de alta resistência. Corpos prismáticos e cúbicos, por terem apenas uma de suas faces expostas, possuem dois pares de faces paralelas, moldadas em superfície usinada, garantindo a perpendicularidade ao eixo da peça.

Faz-se necessária a utilização, para corpos de prova cilíndricos, de algum tipo de capeamento, podendo ser realizado pelo posicionamento de um material de superfície lisa ou pela regularização do topo do elemento. Certos cuidados devem ser tomados na escolha dos materiais para capeamento. O cilindro deve apresentar topos planos, lisos e perpendiculares ao eixo central. Neville (2016) cita que um afastamento de 0,25 mm do plano pode reduzir um terço da resistência aparente do concreto.

O material ideal para capeamento, segundo Neville (2016), deveria ter tanto propriedades elásticas quanto resistivas comparáveis ao concreto do corpo de prova, promovendo uma distribuição de tensões uniforme na seção transversal. A camada de capeamento deve ser fina, porque a diferença de resistências e módulos de elasticidade poderia criar contenções laterais que criariam aumento aparente de resistência do elemento, sendo este efeito reduzido em espessuras menores. Os próprios pratos do maquinário de ensaio podem induzir ao confinamento das superfícies, conforme Isaia (2005), uma vez que seus coeficientes de Poisson são diferentes, reduzindo a deformação lateral por meio de tensões tangenciais e criando um estado de tensões diferente do designado por norma. Por outro lado, conforme Neville (2016), materiais com coeficientes de Poisson maiores, como os usados em calços, tais como madeira, papelão e chumbo, podem criar tensões tangenciais no sentido contrário, induzindo à um estado de tensões com tração nas faces, induzindo ao fendimento.

O capeamento pode ser feito após a moldagem ou imediatamente antes do ensaio. Os capeamentos podem ser divididos em sistemas colados, não colados e de desgaste mecânico. Os sistemas colados consistem no uso de material que adere a face fisicamente ou quimicamente, formando uma camada regular (Bezerra, 2007).

Para capeamentos realizados antes do ensaio, necessita-se de um material que endureça rapidamente, mantendo as características necessárias para realização do ensaio. Destacam-se opções como cimento aluminoso, gesso dental de alta resistência, cimento de pega controlada ou uma mistura fundida à base de enxofre (Neville, 2016). Para capeamentos realizados imediatamente antes do ensaio, o tempo de endurecimento tem papel importante, sendo o capeamento de enxofre o mais rápido dos métodos acima citados.

A mistura à base de enxofre consiste da adição de um material inerte, como, por exemplo, argila calcinada moída, que é aplicada sobre as faces do cilindro em estado de fusão. Ela é colocada num dispositivo que garanta superfícies planas e perpendiculares ao eixo do cilindro, indicadas para concretos de até 100 MPa (Neville, 2016). Este método garante alta produtividade, boa aderência e elevada a resistência a compressão nas primeiras horas. Marco, Reginatto e Jacoski (2003) citam algumas desvantagens deste tipo de procedimento, como a produção de gases tóxicos, a fragilidade do material, ocasionando quebra de pedaços do capeamento, variações na espessura e na resistência, pela entrada de impurezas, além do trabalho em temperatura elevada, que pode provocar queimaduras.

Uma alternativa ao capeamento é a retificação por abrasão do topo do elemento, caracterizado como sistema de desgaste mecânico, consistindo na remoção de uma camada fina de material do topo do corpo de prova (Bezerra, 2007). Deve-se garantir a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida e a planicidade da superfície, não sendo permitidos desvios superiores a 0,05 mm (ABNT, 2016).

Este tipo de capeamento induz a resultados muito satisfatórios, eliminando a distorção causada pelo uso do capeamento e apresentando resultados compatíveis aos corpos de prova com superfícies capeadas com mistura de enxofre (Silva et al, 2011). Mas seu procedimento, apesar de simples, é custoso por exigir maquinário de precisão.

Portanto, sendo do interesse de todo pesquisador, na área de concreto, compreender os fatores que afetam o valor de resistência, é importante aferir os efeitos do tipo de capeamento utilizado e do formato dos corpos de prova produzidos, para que possam decidir como conduzir seus experimentos e quais as consequências destas mesmas escolhas nos seus resultados.

## **2. OBJETIVOS**

Este artigo tem por objetivo comparar resultados de resistência mecânica para os formatos e dimensões usuais de ensaio de corpos de prova de concreto convencional, verificando a validade das relações encontradas na literatura. Busca também comparar os resultados obtidos com capeamentos à base de enxofre e os de desgaste mecânico por retífica, comparando os valores obtidos com resultados de outras pesquisas. Por fim, este estudo se propõe a verificar a validade das relações mencionadas para o Concreto de Alto Desempenho (CAD), por meio da repetição dos experimentos com concretos com resistência superior a 50 MPa.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. MATERIAIS**

A areia utilizada foi uma areia média, de origem natural e local, com diâmetro máximo de 2,36 mm, módulo de finura de 2,07, massa específica aparente de 2,631 g/cm<sup>3</sup> e absorção de 0,28%. A brita é de origem basáltica, com granulometria máxima de 19 mm, módulo de finura de 6,92, massa específica aparente de 3,019 g/cm<sup>3</sup> e 1,24% de absorção. Foram utilizados dois tipos de cimento, sendo CP II Z 32 para o concreto convencional e o CP V ARI para CAD. No CAD, também foi utilizado um aditivo superplastificante à base de

poli-carbonato. A água utilizada foi a fornecida pelo abastecimento público de Ilha Solteira-SP.

### 3.2. Elaboração dos concretos

A dosagem dos concretos foi definida por um traço de 1:5, em massa, com abatimento de  $15 \pm 1$  cm. Para os concretos convencionais e de alto desempenho, foram adotados valores de a/c correspondentes a, respectivamente, 0,52 e 0,35, respectivamente.

Os concretos desta pesquisa foram produzidos segundo a norma NBR 12821 (ABNT,2009), em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 400 litros. Inicialmente, jogou-se água na betoneira, a fim de reduzir a absorção da água utilizada na fabricação do concreto pela mesma. A seguir, foram adicionados os agregados que compõem a mistura, além de uma parcela da água, em torno de 50% de sua massa dosada. A betoneira foi ligada por 60 segundos. Posteriormente foi acrescentado o aglomerante e o restante da água, sendo o concreto misturado por mais 180 segundos.

Houve a necessidade da utilização superplastificante somente no CAD, para que se tivesse uma mesma trabalhabilidade e consistência observados na mistura de concreto convencional, logo após a agitação por três minutos. Vale ressaltar que o percentual de aditivo é em relação à massa de cimento e as pesagens sempre foram conduzidas em parcelas de 0,5%. Acrescido o aditivo, procede-se com uma nova mistura na betoneira por 5 minutos. Utilizou-se o total de 1% de aditivo.

O teste de abatimento foi realizado conforme a NBRNM 67 (ABNT,1998), para verificar as condições de trabalhabilidade e sua conformidade com o abatimento esperado de 15 cm. O adensamento se deu em mesa vibratória por 60 segundos, aproximadamente. Os corpos de prova foram moldados em fôrmas cilíndricas de 10x20 cm e 15x30 cm, e formas cúbicas de 10 cm de lado, conforme especificado pela NBR 5738(ABNT, 2016). Somam um total de 90 corpos de prova, sendo 45 de concreto convencional e 45 de CAD, subdivididos em 18 elementos de cada formato cilíndrico e os 9 restantes em fôrmas cúbicas.

Os corpos de prova foram desmoldados 24 horas depois de sua confecção, sendo mantidos em câmara úmida à temperatura de aproximadamente 22,5°C até a idade de 28 dias.

### 3.3. Capeamento

Os corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm e 15x30 cm de ambos os traços foram divididos em dois grupos de quantidade igual de exemplares de cada tipo (9), sendo o primeiro grupo capeado por uma mistura de 60% de enxofre e 40% de pozolana, formando uma fina camada de aproximadamente 3 mm, enquanto o segundo grupo foi capeado por desgaste em retífica mecanizada. Ambos os métodos de capeamentos foram realizados segundo a NBR 5738 (ABNT,2016).

### 3.4. Teste de compressão axial

O teste de resistência do concreto foi realizado de acordo com as diretrizes da NBR 5739 (ABNT,2007). Os corpos de prova foram rompidos aos 28 dias, em uma prensa universal para ensaios. A tensão de ruptura foi obtida através das seguintes expressões, a primeira para os corpos cilíndricos:

$$\sigma_c = \frac{4 \times P}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Sendo:

- $\sigma_c$ : tensão de compressão na ruptura (MPa);
- P: carga de ruptura lida na prensa (N);

- D: diâmetro do corpo de prova (mm);
- A segunda para os corpos de prova cúbicos:

$$\sigma_c = \frac{P}{d^2} \quad (2)$$

Sendo:

- $\sigma_c$ : tensão de compressão na ruptura (MPa);
- P: carga de ruptura lida na prensa (N);
- d: comprimento do lado do cubo (mm);

A resistência final média foi obtida a partir dos critérios de desvio máximo de  $\pm 6\%$ , conforme NBR 7215 (ABNT,1996).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Resistência à compressão

Os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada amostra de capeamento e formato encontram-se dispostos nas tabelas 2 e 3, para concreto convencional e de alto desempenho, respectivamente.

Tabela 2. Resistência à compressão do concreto convencional

|                       | Cilindro 15x30 |         | Cilindro 10x20 |         | Cubo<br>10x10x10 * |
|-----------------------|----------------|---------|----------------|---------|--------------------|
|                       | Retificado     | Capeado | Retificado     | Capeado |                    |
| Média (MPa)           | 25,98          | 26,63   | 19,50          | 23,82   | 29,42              |
| Desvio Padrão (MPa)   | 0,94           | 0,53    | 0,90           | 0,70    | 1,21               |
| Coef. de Variação (%) | 3,62           | 1,98    | 4,63           | 2,94    | 4,12               |

Obs.: por apresentar 2 pares de superfícies paralelas, o formato cúbico não necessita ser capeado ou retificado

Tabela 3. Resistência à compressão do CAD

|                       | Cilindro 15x30 |         | Cilindro 10x20 |         | Cubo<br>10x10x10 * |
|-----------------------|----------------|---------|----------------|---------|--------------------|
|                       | Retificado     | Capeado | Retificado     | Capeado |                    |
| Média (MPa)           | 56,97          | 65,15   | 49,63          | 54,05   | 60,19              |
| Desvio Padrão (MPa)   | 2,13           | 1,53    | 1,30           | 1,24    | 1,16               |
| Coef. de Variação (%) | 3,75           | 2,34    | 2,62           | 2,30    | 1,93               |

Obs.: por apresentar 2 pares de superfícies paralelas, o formato cúbico não necessita ser capeado ou retificado

Consoante com o encontrado na literatura, após o tratamento estatístico dado às amostras, o CAD apresentou sistematicamente desvios percentuais menores que o do concreto convencional. De acordo com o estudo de Pistilli e Willems (1993), esperava-se uma variabilidade menor em corpos de provas de menores dimensões, o que se confirmou, com exceção dos corpos de prova de concreto convencional de formato cilíndrico de 10x20 cm, que apresentaram desvios percentuais maiores que os correspondentes de 15x30 cm.

### 4.2. Análise de efeito de forma

Na figura 1, apresenta-se um gráfico comparativo dos efeitos do formato do corpo de prova no valor medido da resistência.

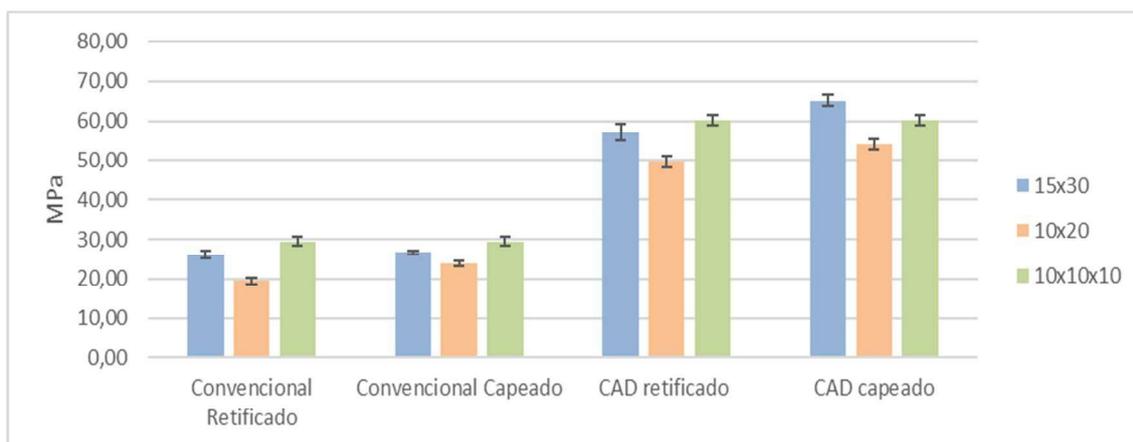


Figura 1. Gráfico de comparação de efeito de forma

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos por meio de razões numéricas entre as médias de resistência encontradas, tomando-se como referência o valor do cilindro de 15x30 cm, considerado como padrão pela norma. O objetivo da tabela é mostrar como a geometria do corpo de prova influencia a resistência em cada procedimento de regularização, para diferentes classes de concreto.

Tabela 4. Comparação do efeito da geometria do corpo de prova, para cada tipo de regularização, utilizando-se, como referência, os valores dos cps cilíndricos de 15x30 cm

| Tipo de Concreto      | Processo de regularização | Cilindro 15x30 | Cilindro 10x20 | Cubo 10x10x10* |
|-----------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Concreto Convencional | Retificado                | 1,00 (ref.)    | 1,33           | 0,88           |
|                       | Capeado                   | 1,00 (ref.)    | 1,12           | 0,91           |
| CAD                   | Retificado                | 1,00 (ref.)    | 1,15           | 0,95           |
|                       | Capeado                   | 1,00 (ref.)    | 1,21           | 1,08           |

Obs. 1: coeficiente calculado dividindo-se a resistência média dos cps cilíndricos de 15x30 pela resistência média dos das demais geometrias

Obs. 2: por apresentar 2 pares de superfícies paralelas, o formato cúbico não necessita ser capeado ou retificado, sendo comparado em seu estado original com os cps 15x30 cm

A primeira informação que se pode conseguir por meio do gráfico é que, a despeito do que é encontrado nos trabalhos de Pistilli & Willems (1993), Yacizi & Sezer (2006) e Isaia (2005), os valores médios de resistência dos cilindros de 10x20 cm apresentaram resultados sistematicamente menores. Conforme Petrucci (1978), na tabela 1 apresentada neste trabalho, era de se esperar um coeficiente da ordem de 0,97; no entanto, os valores observados para o concreto convencional e de alto desempenho foram de, respectivamente, 1,33 e 1,15 para cps retificados, e 1,12 e 1,21, respectivamente, para cps capeados.

Podem ser minimizados em sua importância para com este resultado, problemas com a proporção dos materiais, uma vez que, para um mesmo traço, as relações provocadas pelo efeito de forma devem ser mantidas dentro do limite de variabilidade estatística.

Creem-se pouco influentes também erros de cura, pois seu processo é mecânico e idêntico para todos os corpos de prova, enquanto os demais procedimentos, por dependerem de processo humano, podem ter incorporado erros na produção das amostras, conduzindo a resultados anômalos. No entanto, a consistência dos resultados induz à crença de que há outras variáveis envolvidas. Portanto, tais variações além do limite podem indicar erros no processo de moldagem, adensamento e ensaio.

Já com relação ao formato cúbico de aresta 10 cm, Petrucci (1978), na tabela 1 apresentada neste trabalho, menciona um valor esperado de 0,80. Neste caso, os valores observados foram coerentes, cujos valores observados para o concreto convencional e de alto desempenho foram de, respectivamente, 0,88 e 0,95 para cps retificados, e 0,91 e 1,08, respectivamente, para cps capeados. Apenas este último valor de 1,08 não estava sendo esperado.

Yi, Yang e Choi (2006) mencionam que o efeito de forma desaparece mais rapidamente em concretos de alta resistência, causando a aproximação dos valores, fato este observado experimentalmente. De Larrard et al. (1994) apontam um intervalo um pouco mais largo para concretos de alto desempenho, que tem limites entre 0,71 e 1,02, considerando efeito de parede devido ao tamanho dos cubos, estando bastante próximo do limite superior observado experimentalmente, que foi igual a 1,08.

O trabalho de Kusumawardaningsih, Fehling e Ismail (2015), com concretos de ultra alta resistência moldados em formatos cilíndricos de 10x20 cm e cubos de 10 cm de lado, encontrou um coeficiente de resistência entre 0,89 e 0,94 (cubo/cilindro), o que se caracteriza como uma inversão do comportamento esperado para o CAD e o concreto convencional. No entanto, os mesmos autores citam a imprecisão destes valores empíricos para concretos convencionais e CAD.

### 4.3. Análise do efeito do capeamento

Na figura 2, tem-se a comparação entre os dois tipos de capeamento utilizados neste trabalho.

A tabela 5 tem como objetivo a comparação entre os processos de regularização, por meio de razões numéricas entre as médias de resistência encontradas, tomando-se, como referência, o processo de retificação da superfície do corpo de prova.

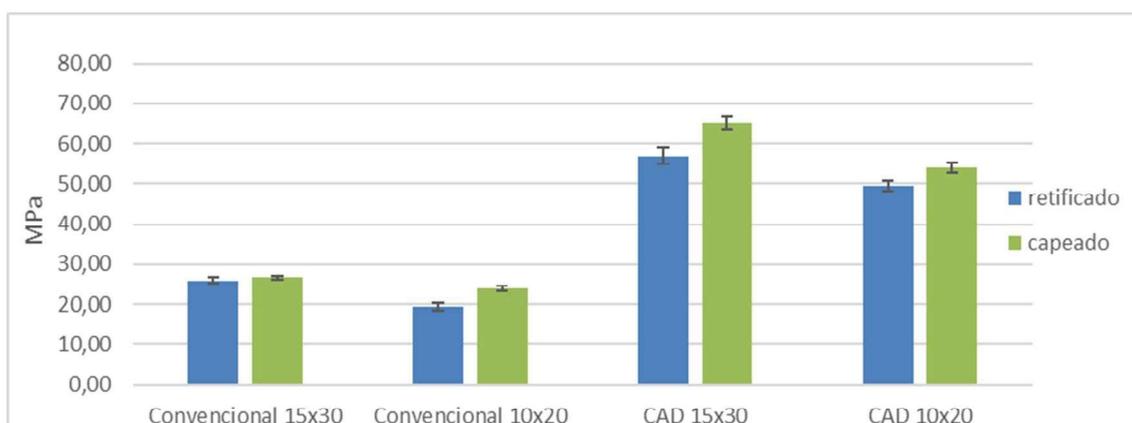


Figura 2. Gráfico de comparação de efeito do tipo de capeamento

Tabela 5. Comparação do efeito da regularização das superfícies do corpo de prova, para cada tipo de forma, utilizando-se, como referência, os valores dos cps cilíndricos de 15x30 cm.

| Tipo de Concreto      | Geometria do corpo de prova | Retificação     | Capeamento |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------|------------|
| Concreto Convencional | Cilindr. 15x30              | 1,00 (ref.)     | 1,03       |
|                       | Cilindr. 10x20              | 1,00 (ref.)     | 1,22       |
|                       | Cúbico 10                   | * não se aplica |            |
| CAD                   | Cilindr. 15x30              | 1,00 (ref.)     | 1,14       |
|                       | Cilindr. 10x20              | 1,00 (ref.)     | 1,09       |
|                       | Cúbico 10                   | * não se aplica |            |

Obs.: coeficiente calculado dividindo-se a resistência média dos corpos de prova pela resistência média dos corpos de prova retificados

A tendência se apresenta clara com o capeamento por enxofre apresentando resultados consistentemente e significativamente maiores, de modo diferente ao que foi observado no estudo realizado por Pereira e Medeiros (2014), que obtiveram valores maiores em capeamentos por desgaste mecânico que para capeamentos com enxofre, em concretos na faixa de 20, 40, 60 e 80 MPa. Com uma variação entre 0,82 e 0,98 para os concretos convencionais, esta faixa se reduz bastante no concreto de alto desempenho, indicando que o efeito do tipo de capeamento é presente, mas a sua variação é menor, apresentando resultados mais consistentes.

O trabalho de Silva et al. (2011) conclui que tanto o capeamento por enxofre quanto por retífica apresentam resultados similares e confiáveis, sendo que a retífica apresentou resultados ligeiramente maiores. Pesquisas apontam que, quando o efeito de capeamento por material é visível, o módulo de elasticidade do material capeador é mais importante que a própria capacidade resistiva do material (Vichit-Vadakan, Carino e Mullings, 1998).

Pode-se observar, nas comparações dos valores de resistência de cubos com os corpos de prova capeados na tabela 4, que o CAD apresentou valores que são superiores ao cubo, o que pode ser interpretado como um aumento de resistência aparente, por parte do capeamento de enxofre. Este efeito aparente pode ser explicado pelo confinamento provocado pelo capeamento de enxofre. Dultra, Cabala e Carvalho (2014) encontraram, em um estudo comparativo de capeamentos de enxofre e almofadas de neoprene confinadas, para diferentes faixas de resistência, que com o aumento da resistência do corpo de prova, o capeamento por neoprene passava a apresentar resultados mais altos que o enxofre, que foi explicado por eles pela capacidade de confinamento lateral, muito mais pronunciada no capeamento por neoprene.

Medeiros et al. (2017) afirmam em seu trabalho que o método de retífica por disco rígido apresentou resultados coerentes e pouco dispersos para as classes de concreto que variavam de 20 a 80 MPa. Quanto ao método utilizado, o capeamento com enxofre apresentou resultados coerentes apenas na faixa de 20 MPa, o que eles atribuem à baixa resistência da mistura de enxofre.

O trabalho de Marco, Reginatto e Jacoski (2003) apresenta resultados de testes em que o capeamento de enxofre apresenta médias consistentemente maiores que os demais métodos ensaiados, a exemplo do resultado desta investigação, tendo valores comparáveis graficamente apenas com o neoprene com reforço metálico. Pistilli e Willems (1993) apontam que os valores resistência por capeamento de neoprene são consistentes com os obtidos por capeamento com retífica, o que se repete nos resultados de Pereira e Medeiros (2014).

Os resultados obtidos contrastam com os valores obtidos por Pereira e Medeiros (2014), apresentam valores maiores para o capeamento por retífica.

Ao contrário dos valores do presente trabalho, a pesquisa de Gesoglu, Gunieyisi e Ozturan (2002) apresentam resultados pouco menores para o capeamento de enxofre que os outros tipos de capeamento. Pode-se argumentar que a variação da classificação do capeamento por enxofre deve levar em conta que o capeamento pode ter sido realizado com diferentes tipos de mistura à base de enxofre. Bezerra (2007) aponta que as propriedades do material influenciam no resultado final de resistência, devendo o material ter resistência maior que o concreto testado.

Outro ponto a ser considerado é a dispersão dos resultados produzidos pelo tipo de capeamento. Gesoglu, Gunieyisi e Ozturan (2002) apontam dispersões maiores para o capeamento com enxofre se comparado com as obtidas para placas de neoprene. Silva et al

(2011) apresentam desvios gráficos, apontando valores mais ou menos condizentes entre capeamentos por retífica e enxofre. O estudo de Lianxiang, Folliard e Trejo (2004) apontam desvios consideravelmente maiores para métodos de capeamento não-colantes, com relação ao obtido por capeamento com enxofre.

O trabalho de Chies, Rohden e Silva Filho (2014), que comparou os métodos de capeamento por neoprene, enxofre, retífica por disco rígido e por serra policorte, para traços que variavam de resistência entre 25 e 120 MPa, concluiu que, apesar de todos os métodos testados terem resultados semelhantes para o concreto convencional, o método de retífica por disco rígido apresentou os menores desvios, sendo portanto o mais indicado para concretos convencionais. Para os CAD, suas conclusões apontavam para o uso de Neoprene como melhor tipo de capeamento.

Sendo o desvio do presente estudo produzido a partir da exclusão de corpos de prova considerados discrepantes, segundo a norma NBR 7215 (ABNT,1996), não é possível apresentar tendência clara nos desvios obtidos, mas pode-se notar uma constância de coeficientes de variação maiores nas amostras retificadas, em concordância com o achado de Chies, Rohden e Silva Filho (2014), para o concreto convencional, e os de Medeiros et al. (2017), no CAD.

## 5. CONCLUSÕES

Este artigo procurou considerar tanto a influência do tipo de capeamento utilizado quanto o formato e as dimensões dos corpos de prova, para dois tipos de concretos diferentes, sendo um considerado convencional e o outro de alto desempenho.

Os valores de resistência dos corpos de prova são menos dispersos para os CAD em comparação aos convencionais, independente do tipo de capeamento. Com relação aos tipos de capeamento, ambos apresentaram resultados de resistência e variâncias parecidas, com o capeamento por enxofre sendo ligeiramente superior, em média, para as quatro combinações, enquanto o capeamento por retífica apresentava menor dispersão em torno da média.

Os valores de correlação entre os tipos de corpo de prova encontrados no presente trabalho se conformam parcialmente com os apresentados na literatura, visto que os corpos de prova de tamanho 10x20 cm apresentaram resistências menores que os 15x30 cm. No entanto, as demais relações encontradas indicam a presença do efeito de forma, tanto no concreto convencional quanto no CAD.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5738/2016: *Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5739/2007: *Concreto - ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7215/1996: *Cimento Portland – determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1996.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBRNM 67: *Concreto - determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12821: *preparação de concreto em laboratório*. Rio de Janeiro, 2009.
- Bezerra, A. C. S. (2007) *Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concreto: uma análise experimental e computacional*. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

- Chies, J. A.; Rohden, A. B.; Silva Filho, L. C. P. (2014) "Surface treatment of concrete test specimens subjected to compression." *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais* 7.5: 755-800.
- De Larrard, F., et al. (1994) "Is the cube test suitable for high performance concrete?". *Materials and Structures* 27.10 (1994): 580-583.
- Dehestani, M.; Nikbin, I. M.; Asadollahi, S. (2014) "Effects of specimen shape and size on the compressive strength of self-consolidating concrete (SCC)." *Construction and building materials* 66: 685-691.
- Del Viso, J. R.; Carmona, J. R.; Ruiz, G. (2008) "Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete." *Cement and Concrete Research* 38.3: 386-395.
- Dultra, E. J. V.; Cabala, G. V. E.; Carvalho, L. O. (2014) Estudo comparativo entre o capeamento com enxofre e a utilização de almofadas em neoprene no ensaio de resistência à compressão de concreto estrutural. In: congresso brasileiro do concreto, 56., 2014, Natal. Anais do 56º congresso brasileiro de concreto. Natal: Ibracon, 1 CD-ROM
- Gesoğlu, M.; Güneysi E.; Özturan, T. (2002) "Effects of end conditions on compressive strength and static elastic modulus of very high strength concrete." *Cement and Concrete Research* 32.10: 1545-1550.
- Isaia, G. (ed.) (2005). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: Ibracon.
- Kusumawardaningsih, Y.; Fehling E.; Ismail M. (2015) "UHPC compressive strength test specimens: Cylinder or cube?". *Procedia Engineering* 125: 1076-1080.
- Lianxiang, D.; Folliard, K. J.; Trejo, D. (2004) A new unbounded capping practice for evaluate the compressive strength of controlled low-strength material cylinders. *Cement, Concrete, and Aggregates* 21.1.
- Marco, F. F.; Reginatto, G. M.; Jacoski, C. A. (2003) Estudo comparativo entre capeamento de neoprene, enxofre e pasta de cimento para corpos de prova cilíndricos de concreto. In: congresso brasileiro do concreto, 45., 2003, Vitória. Anais do 45º congresso brasileiro de concreto. Vitória: Ibracon, 1 CD-ROM
- Medeiros, R. et al. (2017) "Investigation of the influence of different surface regularization methods for cylindrical concrete specimens in axial compression tests." *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais* 10.3: 568-591.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2008). *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Ibracon.
- Muciaccia, G.; Rosati, G.; Di Luzio, G. (2017) "Compressive failure and size effect in plain concrete cylindrical specimens." *Construction and Building Materials* 137: 185-194.
- Neville, A. M. (2016). *Propriedades do concreto*. Porto Alegre: Bookman.
- Pereira, B. A.; Medeiros, R. (2014) Comparativo dos métodos de regularização das superfícies de contato dos corpos de prova de concreto destinados a ensaios de compressão uniaxial. In: congresso brasileiro do concreto, 56., 2014, Natal. Anais do 56º congresso brasileiro de concreto. Natal: Ibracon, 1 CD-ROM
- Petrucci, E. G. R. (1978). *Concreto de cimento Portland*. Porto Alegre: Globo.
- Pistilli, M. F.; Willems, T. (1993) "Evaluation of cylinder size and capping method in compression strength testing of concrete." *Cement, Concrete and Aggregates* 15.1: 59-69.
- Silva, M. J. et al. (2011) Influência de dois tipos de capeamento de corpos de prova de concreto. In: congresso brasileiro do concreto, 53., 2011, Florianópolis. Anais do 53º congresso brasileiro de concreto. Florianópolis: Ibracon, 1 CD-ROM
- Vichit-Vadakan, W.; Carino, N. J.; Mullings, G. M. (1998) "Effect of elastic modulus of capping material on measured strength of high-strength concrete cylinders." *Cement, concrete and aggregates* 20.2: 227-234.

- Yazıcı, Ş.; Sezer, G. Í. (2007) "The effect of cylindrical specimen size on the compressive strength of concrete." *Building and Environment* 42.6: 2417-2420.
- Yi, S.; Yang, E.; and Choi, J. (2006) "Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete." *Nuclear Engineering and Design* 236.2: 115-127.

## **7. AGREDECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.