INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COM DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTO SUPERFICIAL

INFLUENCE ON AXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE SPECIMENS PREPARED WITH DIFFERENT TYPES OF SURFACE TREATMENT

INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE CUERPOS DE PRUEBA DE CONCRETO CON DIFERENTES TIPOS DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

P. H. LEUCK
Acadêmico de Engenharia Civil
UNISINOS/itt Performance
RS; Brasil
phleuck@unisinos.br

M. J. OTT
Acadêmica de Engenharia Civil
UNISINOS/itt Performance
RS; Brasil
mairajo@edu.unisinos.br

L. W. FRANCISCO
Acadêmica de Engenharia Civil
UNISINOS/itt Performance
RS; Brasil
leticiawilhelms@gmail.com

V. K. ORTOLAN
MSc. Engenheiro Civil
UNISINOS/itt Performance
RS; Brasil
vortolan@unisinos.br

R. P. SOUZA
MSc. Engenheiro Civil
UNISINOS/itt Performance
RS; Brasil
rperico@unisinos.br

B. F. TUTIKIAN
Prof. Dr. Engenheiro Civil
UNISINOS/itt Performance
RS; Brasil
bftutikian@unisinos.br

RESUMO

Os resultados de ensaios de resistência à compressão axial de corpos de prova de concreto cilíndricos podem sofrer influência de vários fatores. Dentre estes, estão os possíveis tratamentos de superfície disponíveis, que podem ter influência direta na resistência das amostras, pois para o rompimento se faz necessária a devida planicidade da superfície para que cargas do equipamento de ensaio sejam distribuídas de modo uniforme. Hoje, no Brasil, apesar de estudos já realizados, não há um consenso sobre o melhor procedimento de preparação de superfície a ser utilizado de maneira a obter os resultados mais confiáveis. Assim, como objeto deste estudo, buscou-se avaliar diferentes tipos de tratamento de topo de base em corpos de prova de concreto, a fim de realizar um comparativo e, se possível, determinar qual fornece os resultados mais precisos. Dado isto, foram produzidos 25 exemplares cilíndricos de dimensões 10x20cm, os quais foram rompidos à compressão axial com cinco tipos diferentes de preparação de topo de base: retífica e discos de neoprene, somente retífica, somente discos de neoprene, capeamento de argamassa de cimento e capeamento de argamassa de enxofre. Tais espécimes foram rompidos nas idades de 7 e 28 dias, a fim de determinar a sua resistência. Os resultados obtidos indicam que a melhor forma de tratamento das superfícies é a retificação.

Palavras-chave: Tratamentos superficiais. Resistência à compressão. Capeamento.

ABSTRACT

Results of axial compressive strength of cylindrical concrete specimens tests can be influenced by several factors. Among these, there are many kinds of surface treatments available, which may have a direct influence on the strength of the specimens, since a flat surface is necessary in order to guarantee an equally distribution of the loads. Today, in Brazil, although there are some studies about it, there is no consensus on the best surface treatment to be used in order to obtain the most reliable results. Thus, the objective of this study is to evaluate different types of surface treatment of concrete test specimens, in order to make a comparative and, if possible, determine which treatment provides the most accurate results. Therefore, 25

cylindrical 10x20 cm specimens were produced and prepared with five different types of surface treatment: grinding and use of neoprene discs, only grinding, only neoprene discs, cement mortar capping and sulfur mortar capping. The specimens were tested at the ages of 7 and 28 days in order to determine their resistance. The results indicate that the best surface treatment is when the specimens are prepared with a grinding concrete machine.

Keywords: Surface treatment. Compressive strength. Capping.

1. INTRODUÇÃO

O ensaio de resistência à compressão axial do concreto é um dos parâmetros de caracterização e qualidade de controle. De baixo custo operacional e fácil execução, torna-se um dos ensaios mais executado para tal fim. A resistência à compressão do concreto, resultado obtido por este ensaio, é considerado a propriedade mais importante por estar diretamente relacionada ao f_{ck} estipulado nos projetos estruturais em concreto armado (NEVILLE; 2013).

Os resultados deste ensaio podem ser influenciados por variações na geometria e nas dimensões do corpo de prova (CP), assim como pelo tipo de molde, cura, preparação das superfícies de topo e base, rigidez da máquina de ensaio e velocidade de carregamento (SOUZA; BASTOS, 2017).

Como visto, vários componentes alteram os resultados, dentre eles o tratamento da superfície. Para assegurar uma correta determinação da resistência à compressão do concreto, é necessário garantir uma adequada distribuição da carga aplicada na área em contato com os pratos da prensa, dado que é por meio destes que o exemplar recebe as cargas da prensa para ser rompido (CHIES; ROHDEN; SILVA FILHO, 2014). Para a realização desse ensaio, quanto melhor for a planicidade e uniformidade dos topos das amostras, maior será a confiabilidade dos resultados (BOESING; PHILIPPSEN; DA LUZ, 2010). Faz-se necessário também que as superfícies dos CP's em contato com a prensa sejam lisas e perpendiculares ao eixo longitudinal do CP, para que assim a carga seja distribuída uniformemente pela superfície (SILVA et al., 2011). Segundo a Norma ASTM C 617M15, a bases dos CP's cilíndricos devem apresentar planicidade com tolerância de 0,05 mm.

Os processos de arrasamento e acabamento dos CP's no instante da moldagem, não promovem uma superfície plana e lisa, portanto exigem preparação adicional no estado endurecido (NEVILLE; 2013), motivo pelo qual é realizado uma preparação de topo de base antes do rompimento. Um mau tratamento superficial implica em concentração de carga em determinados pontos, geração da excentricidade e, com isso, um maior coeficiente de variação dos resultados de resistência dos CP's, tornando os resultados menos confiáveis (BOESING; PHILIPPSEN; DA LUZ, 2010).

A norma NBR 5738 (ABNT, 2015), no item 9, destaca a importância do processo de preparação dos topos dos CP's cilíndricos para o ensaio de compressão axial. Esta norma indica dois procedimentos para este fim: retificação e o capeamento (sem exemplificar quais materiais devem ser utilizados). Segundo a norma, outros procedimentos podem ser adotados, desde que os resultados sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística e compatíveis com os obtidos com CP's capeados pelo processo tradicional (CHIES; ROHDEN; SILVA FILHO; 2014).

Para Bezerra (2007), diferentes tipos e materiais de capeamentos apresentam significativa influência quanto à resistência à compressão de corpos de prova. Apesar de alguns estudos realizados, ainda não há consenso nas pesquisas sobre o assunto no Brasil e existe uma lacuna de conhecimento a esse respeito. É importante ressaltar que, além dos resultados dos ensaios à compressão, existem outros pontos a serem considerados: no caso de capeamento com enxofre, ocorrem sérios problemas para o meio ambiente e para o operador (SOUZA; BASTOS, 2017); já a utilização de discos de neoprene necessita de um investimento econômico relativamente alto para os laboratórios. O ideal é conciliar custo baixo e menor agressão à natureza e ao operador, e, ao mesmo tempo, resultados satisfatórios e aceitáveis (SOUZA; BASTOS, 2017). Estudos realizados por Chies, Rohden e Silva Filho (2014), mostraram que para concretos convencionais, a técnica de retificação foi mais eficiente, enquanto que para concretos de alta resistência, tratamentos com neoprene e retifica apresentaram resultados semelhantes.

Souza e Bastos (2017) identificaram que a retificação dos CP's apresentou melhor homogeneidade de resultados, com menores valores de desvio padrão e coeficiente de variação enquanto que o capeamento com enxofre apresentou uma alta variabilidade nos resultados (11% a 15%). Com neoprene apresentou pequena dispersão nos resultados (7%).

Agra (2017) verificou que, apesar da maior confiabilidade ser do nivelamento de topo por retífica, pois apresentou menor coeficiente de variação, os resultados do capeamento com enxofre apresentaram resultados muito próximos da retífica, com 95% de confiança, mostrando evidências muito fortes que esses dois métodos são iguais, mesmo grau de significância, para a faixa de resistência estudada, no caso 26 MPa. Os resultados apresentados pelo capeamento com neoprene apresentaram maior desvio-padrão, indicando que esse tipo de regularização possui menor confiabilidade.

Silva et al. (2011), concluíram que a retificação das superfícies de exemplares cilíndricos de 100x200 mm de concretos de Classe C40 (40 MPa) é um método válido para regularização de superfície, apresentando resultados compatíveis com amostras capeadas com enxofre.

Todavia, para Boesing, Philippsen e da Luz (2010), o capeamento com enxofre mostrou resultados ligeiramente superiores ao capeamento com pasta de cimento, mas em contrapartida o desvio-padrão dos exemplares capeados com pasta de cimento se apresentou inferior, o que garante maior confiabilidade. Os autores também destacam a praticidade do capeamento com enxofre em detrimento do capeamento com argamassa de cimento.

Este estudo tem por objetivo avaliar a influência de cinco diferentes tipos de regularização das superfícies de topo e base de corpos de prova cilíndricos de concreto em relação à resistência à compressão axial. Almeja-se ainda sugerir a técnica de tratamento das superfícies que melhor se comporta quando comparada com a literatura já existente e com os resultados obtidos.

2. METODOLOGIA

Para este estudo, fez-se uso de cinco tipos de tratamento superficial: retificação, neoprene, retificação conciliada ao uso de neoprene, argamassa de cimento e argamassa de enxofre, que são os tipos de tratamento superficial mais utilizados no Brasil. Todos os CP's foram moldados com concreto do mesmo lote, produzidos em central dosadora, fornecido pela empresa Concresul, a fim de garantir adequada comparação dos resultados entre os diferentes tipos de tratamentos, quando submetidos ao procedimento de ensaio de resistência à compressão axial. A resistência à compressão característica (f_{ck}) do concreto que foi fornecido pela empresa é de 35 MPa.

2.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados em formas metálicas cilíndricas de diâmetro 10 cm e altura 20 cm de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. O concreto foi colocado nas formas untadas com óleo desmoldante, em duas camadas, recebendo 15 golpes cada uma com uma haste de adensamento, e tendo a superfície superior arrasada. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e armazenados em uma sala de cura úmida.

2.2 Materiais e equipamentos utilizados

O concreto produzido na central dosadora é constituído por cimento do tipo CP II-F-40, areia média natural, agregado graúdo com duas dimensões, sendo caracterizado como britas 0 e 1, cinza volante e relação água/cimento de 0,6.

As medições dos exemplares foram realizadas com um paquímetro digital. Para a verificação da resistência à compressão das amostras, contou-se com o auxílio de uma prensa universal hidráulica da marca EMIC-INSTRON com capacidade para 2000 kN e pratos superiores oscilantes, localizada no itt Performance - Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil, junto à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

2.3 Tratamentos superficiais

Neste tópico serão apresentados e descritos cada um dos tratamentos superficiais utilizados.

2.3.1 Retificação

A retífica é um equipamento manual que trabalha a partir de ar comprimido e que possui uma lâmina que, ao passar pela superfície do CP, retira uma fina camada de material, alisando-o e deixando-o plano. A lâmina é passada na superfície do CP o número de vezes que for necessário, ficando a critério do operador verificar se o CP está com a superfície adequadamente lisa e nivelada. É importante destacar que deve-se respeitar a relação h/D, não rompendo corpos de prova com relação superior a 2,02cm e, se inferior a 1,94cm, utilizar os coeficientes que a norma ABNT NBR 5739:2007 prescreve. Os corpos de prova foram retificados um dia antes de serem rompidos, ou seja, nas idades de 6 e 27 dias.

2.3.2 Neoprene

Este aparato consiste em dois pratos metálicos circulares onde são encaixados discos de neoprene, apresentados na Figura 1. O conjunto é, então, posicionado nas duas superfícies do CP (Figura 2) ao ser inserido na área de ensaios da máquina. Independente da superfície do CP estar nivelada ou não, o neoprene se molda à esta superfície.

Figura 1 - Aparato para capeamento com neoprene



Figura 2 - CP com neoprene



2.3.3 Retificação conciliado com neoprene

Este tratamento consiste em retificar o CP como descrito no item 2.3.1 e, posteriormente, são colocados os aparatos metálicos com neoprene em suas superfícies de acordo com o item 2.3.2.

2.3.4 Argamassa de cimento

A argamassa de cimento consiste em uma camada de até 1,5 mm aplicada às duas superfícies do CP, com o intuito de planificar as superfícies. A argamassa foi realizada com areia quartzosa, de diâmetro máximo de 0,6 mm, e cimento CP V-ARI RS em um traço unitário de 1:2 (cimento:areia fina) e 0,5 de relação água/cimento. Em uma bancada plana untada com óleo desmoldante, foi capeado primeiramente uma das superfícies. Após 24 horas de cura, foi realizado o capeamento da outra superfície e transcorridas 24h após a última etapa, o CP foi armazenado em sala de cura úmida. Para o ensaio de compressão do concreto na idade de 7 dias, a argamassa apresentava resistência à compressão de 36,1 MPa. Já na idade de 28 dias, a argamassa teve a resistência à compressão de 40,3 MPa. A Figura 3 mostra o corpo de prova após o capeamento com argamassa.

Figura 1 – Corpo de prova capeado com argamassa



2.3.5 Argamassa de enxofre

Esta argamassa é composta por enxofre, caulin e negro-de-fumo, em um traço unitário de 1:0,12:0,06 respectivamente. Estes materiais são misturados e aquecidos em um recipiente adequado para que derretam, sendo mexidos constantemente. Depois de derretida, a mistura deve ser rapidamente aplicada à superfície do molde, responsável por manter o CP nivelado, formando uma fina camada superficial ao concreto, como mostra a Figura 3. Este capeamento é muito frágil, portanto necessita-se de grande cuidado ao manusear amostras com este tipo de capeamento.

Figura 3 - Capeamento com enxofre



2.4 Procedimento de ensaio

Os tratamentos superficiais foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 - *Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.* Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007 - *Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos.* Cada tipologia de tratamento de superfície foi ensaiada aos 7 e 28 dias. Para a idade de 7 dias foram ensaiados 2 CP's e para a idade de 28 dias, 3 CP's.

3. RESULTADOS

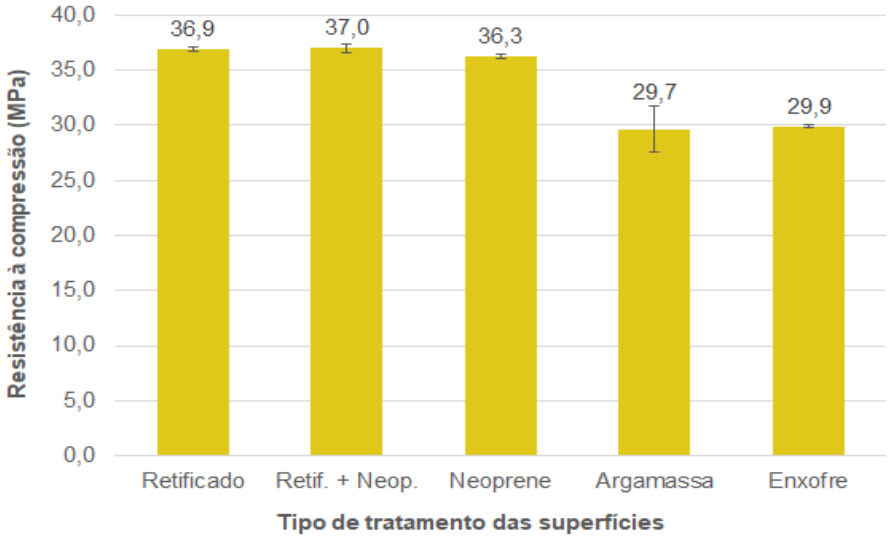
Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova com os cinco diferentes tipos de tratamento superficial, nas idades de 7 e 28 dias, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Tipo de Tratamento das Superfícies	Idade de Ensaio (dias)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão Potencial de Ruptura (MPa)	Tensão Média de Ruptura (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Retificado	7	36,7 37,1	37,1	36,9	0,2
	28	54,4 50,2 51,6	54,4	52,1	1,7
Retificado + Neoprene	7	36,6 37,4	37,4	37,0	0,4
	28	44,5 49,3 49,0	49,3	47,6	2,2
Neoprene	7	36,4 36,1	36,4	36,3	0,1
	28	47,5 45,7 48,0	48,0	47,1	1,0
Argamassa	7	27,6 31,7	31,7	29,7	2,1
	28	41,2 40,9 41,4	41,4	41,2	0,2
Enxofre	7	29,8 30,0	30,0	29,9	0,1
	28	39,1 40,6 41,2	41,2	40,3	0,9

O Gráfico 1 ilustra os resultados de resistência média à compressão, assim como o desvio padrão, dos exemplares ensaiados aos 7 dias de idade.

Gráfico 1 - Resultados da resistência média à compressão na idade de 7 dias



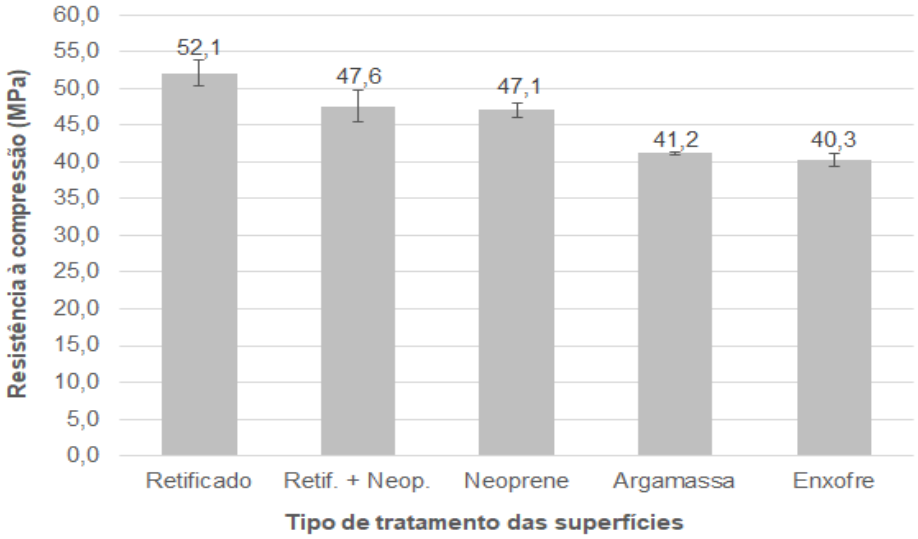
Analisando a Tabela 1 e o Gráfico 1, percebe-se que, aos 7 dias de idade, os corpos de prova que sofreram o processo de retificação e ensaiados sem e com o auxílio de discos de neoprene, alcançaram resistência média à compressão de 36,9 MPa e 37,0 MPa, respectivamente. Já os CP's que foram rompidos somente com os discos de neoprene, sem nenhum outro tipo de tratamento, alcançaram resistência média à compressão de 36,3 MPa, valor ligeiramente inferior aos anteriores. O desvio padrão destes três tipos de tratamento foram baixos, o que leva a entender que os corpos de prova e suas respectivas superfícies estavam homogêneas entre si.

Em relação aos que tiveram preparação das superfícies realizada com argamassa de cimento e de enxofre, os resultados foram bastante inferiores, atingindo 29,7 MPa e 29,9 MPa, respectivamente, de resistência média à compressão. Portanto, verifica-se uma queda de cerca de 20% na resistência média à compressão dos CP's quando comparados com aqueles que foram retificados e ensaiados com discos de neoprene.

Destaca-se que o uso de argamassa de cimento resultou em resultados mais heterogêneos quando comparados aos demais tipos de tratamento, visto que o desvio padrão de tais amostras é de 2,1 MPa. Isso pode ser explicado por possíveis falhas durante o processo de capeamento ou má aderência entre a argamassa e o concreto, resultando em acúmulos de tensões em algumas porções dos CP. Todavia, salienta-se que o capeamento de argamassa permaneceu íntegro após a ruptura do CP..

O Gráfico 2 aponta os resultados de resistência média à compressão dos corpos de prova ensaiados aos 28 dias.

Gráfico 2 - Resultados da resistência à compressão na idade de 28 dias



Verifica-se que, aos 28 dias de idade, os CP's retificados mantiveram a tendência de apresentar os melhores resultados. Ao utilizar discos de neoprene, tanto em corpos de prova retificados quanto naqueles sem tratamento superficial, há uma queda de cerca de 10% na resistência média à compressão verificada nos exemplares que foram apenas retificados. Nota-se que ao retificar e utilizar discos de neoprene durante o ensaio, a amostra apresentou um desvio padrão de 2,2 MPa, o maior desvio verificado neste estudo. Uma das causas pode estar na forma de ruptura do concreto, que foi por esborcinamento dos cantos.

As amostras tratadas com capeamentos de argamassa de cimento e argamassa de enxofre mantiveram os piores resultados, com resistência média à compressão cerca de 22% inferior quando comparado aos com retificação como forma de preparação da superfície. Em ambos os casos, o desvio padrão foi relativamente baixo. Isso indica que, para cargas maiores, os dois tipos de capeamento tiveram um comportamento padrão, porém ineficaz.

Nas amostras capeadas, os corpos de prova romperam em sua extensão, não sendo o capeamento responsável pelo resultado do ensaio. Isto é justificado pela Figura 5, onde observa-se a não interferência do capeamento no rompimentos dos corpos de prova.

Figura 5 - Corpos de prova rompidos com diferentes tratamentos superficiais



(a) Retificado



(b) Enxofre



(c) Argamassa



(d) Neoprene



(e) Retificado + Neoprene

4. CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados de resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados com cinco tipos diferentes de tratamento das superfícies, destaca-se a opção com apenas o processo de retificação, pois esta tipologia de tratamento manifestou a maior resistência, tanto aos 28 dias de idade como aos 7 dias. Na menor idade, destaca-se também a utilização de discos de neoprene em CP's retificados, obtendo resistência praticamente idêntica àqueles que foram apenas retificados. Todavia, uma vez que os CP's já estão retificados, a utilização de discos de neoprene gera apenas mais gastos para o laboratório que irá realizar este tipo de ensaio. Contudo, quando não há disponibilidade de equipamento retificador, o uso de discos de neoprene é uma alternativa viável, ainda que apresente valores de resistência à compressão do concreto inferiores aos valores daqueles com a superfície retificada.

A utilização de capeamentos de enxofre e argamassa não é recomendada, visto que os resultados de resistência à compressão apresentam aproximadamente 80% do valor médio obtido em CP's retificados.

Além disso, o uso do enxofre oferece riscos ao ambiente e aos operadores. Capeamentos de argamassa também têm como desvantagem o tempo de cura, podendo durar cerca de 48 horas para capear a superfície inferior e superior.

Percebe-se que os resultados obtidos estão de acordo com os estudos de Chies, Rohden e Silva Filho (2014) e Souza e Bastos (2017), onde a retificação dos topos dos corpos de prova é o tipo de tratamento mais adequado, apresentando valores superiores aos demais e um baixo desvio padrão. Os resultados obtidos nos ensaios de capeamento com neoprene apresentaram maior desvio-padrão, indicando assim que esse tipo de regularização possui menor confiabilidade em consenso com Agra (2017).

Por fim, vale ressaltar que para trabalhos futuros, recomenda-se que sejam feitos um maior número de corpos de prova, para ruptura para cada idade.

5. AGRADECIMENTO

Agradecimento especial à Concresul, pela colaboração com a doação de materiais e auxílio na pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

AGRA, T.; et al. **Análise comparativa entre os métodos de correção de topo de corpos de prova: neoprene, enxofre e retifica.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 59., 2017, Bento Gonçalves. Anais… São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASTM. **C617/C617M-15**: *Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*. USA, 2015.

BEZERRA, A. C. da S. **Influência das variáveis de ensaio os resultados de resistência à compressão de concretos: uma análise experimental e computacional.** 2007. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em construção civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BOESING, R.; PHILIPPSEN, R. A.; LUZ, C. A. da. **Influência do material de capeamento na resistência à compressão dos corpos de prova de concreto e argamassas: comparação entre enxofre, pasta de cimento e pasta de gesso.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13., 2010, Canela. Anais… Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2010.

CHIES, J. A.; ROHDEN, A. B.; SILVA FILHO, L. C. P. **Tratamentos superficiais em corpos de prova de concreto submetidos à compressão**. Revista IBRACON de estruturas e materiais, p. 775-800. Volume 7, 2014.

LOBO, C., L.; MULLINGS, G., M.; GAYNOR, R., D. **Effect of Capping Materials and Procedures on the Measured Compressive Strength of High-Strength Concrete.**

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

SILVA, M. J. et al. **Influência de dois tipos de capeamento de corpos de prova de concreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. Anais… São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2011.

SOUZA, P. T.; BASTOS, P. S. S. **Capeamento de corpos de prova cilíndricos de concreto com placas de HDF não aderentes**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 59., 2017, Bento Gonçalves. Anais… São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2017.