

Análise comparativa da resistência do concreto adensado manual e mecanicamente

Comparative analysis of concrete strength manually and mechanically thickened



Márcio Fernando Oliveira

Graduando do curso de Engenharia Civil (UNIPAM). e-mail: marcio_oliveiraf@hotmail.com

Sandra Lúcia Nogueira

Doutora em Física pela Universidade Federal de Uberlândia. Professora orientadora (UNIPAM)
e-mail: sandraIn@unipam.edu.br

RESUMO: O presente trabalho foi realizado tendo como objetivo específico a análise da resistência obtida a partir dos métodos de adensamento manual e mecânico em comparação com a resistência do concreto moldado in loco, de modo que os resultados possam contribuir para o aperfeiçoamento do processo de controle tecnológico do concreto. Como demonstrado ao longo da pesquisa, o adensamento interfere diretamente na resistência final do concreto, em decorrência da elevada presença de vazios ou da segregação dos agregados. Para isso foi verificado, através do ensaio de compressão axial dos corpos de prova e da retirada de testemunhos de uma viga, a resistência média (f_{ck}) do concreto rompido aos 28 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Adensamento. Corpos de prova. Testemunhos.

ABSTRACT: The present work was developed with the specific objective of an analysis of the resistance obtained from manual and mechanical densification methods in comparisons with the resistance of the molded concrete in the place, in a way that is the result for the improvement of the process of technological control of the concrete. As shown throughout the research, densification directly interferes with the final strength of the concrete, the occurrence of high void availability or the segregation of aggregates. For this, it was verified, through the test of axial compression of the specimens and the removal of cores from a beam, a mean resistance (f_{ck}) of the concrete ruptured at 28 days.

KEYWORDS: Binding. Proof bodies. Testimonies.

INTRODUÇÃO

Na globalização atual, é cada vez maior o padrão de qualidade buscado em tudo que se produz, fenômeno presente também no âmbito da engenharia civil. Em razão disso, prima-se pela utilização de materiais de melhor qualidade, bem como pela adoção de procedimentos executivos que garantam maior segurança, eficiência e durabilidade às obras, sem que haja comprometimento dos custos estimados no projeto.

Nesse processo de aperfeiçoamento de resultados, o controle tecnológico do concreto é uma das ferramentas mais exploradas pelos profissionais da área. Deve ser implementado desde a seleção e o recebimento dos materiais, abrangendo também o acompanhamento da construção e a gestão dos ensaios em laboratórios, residindo o ponto central desta pesquisa na formação dos corpos de prova a serem submetidos a esses ensaios.

A resistência à compressão encontrada nos corpos de prova representa de modo fidedigno a resistência do concreto empregado na construção? O tipo de adensamento, manual ou mecânico, influencia na resistência à compressão dos corpos de prova? Positivo o questionamento anterior, qual modalidade de adensamento assegura ao corpo de prova resistência mais próxima àquela do concreto utilizado na edificação?

A necessidade de esclarecer essas questões é o que impulsionou a realização desta pesquisa. Não só pela pesquisa bibliográfica, mas também pelo trabalho experimental, considera-se possível compreender a influência do procedimento de adensamento na formação dos corpos de prova e, conseqüentemente, contribuir para o aperfeiçoamento do processo de controle tecnológico do concreto.

Para tanto, estabelece-se como hipótese a viabilidade de identificação do tipo de adensamento que propicia maior precisão quanto à resistência do corpo de prova em relação à resistência do concreto utilizado na obra. Com isso, podendo se valer da modalidade de adensamento que, tecnicamente, apresenta resultados mais próximos da realidade, terá o engenheiro maior confiança em relação à resistência do concreto empregado na construção.

REFERENCIAL TEÓRICO

Desde o século passado, o concreto é o material mais utilizado na construção civil, sendo que a execução da grande maioria das estruturas se deu em concreto armado. Composto principalmente por cimento, água e agregados, o concreto possui especificidades que lhe garantiram a preferência absoluta dos profissionais da construção civil. Nesse aspecto, a literatura aponta que

[...] o grande uso do concreto se deve a uma série de vantagens, entre elas pode-se citar a alta resistência à compressão que o material atinge em pouca idade. Além disso, é um material que resiste bem ao desgaste mecânico e à ação de agentes

atmosféricos, o que o torna ideal para utilização em praticamente qualquer tipo de ambiente agressivo. Ainda sobre vantagens, pode-se dizer que tem uma vida útil longa e também uma boa resistência ao fogo, evitando que, em caso de incêndios, as chamas se propaguem com tanta velocidade como ocorreria, por exemplo, em estruturas de madeira (ADES, 2015, p. 29).

Além disso, pode-se destacar também o custo relativamente baixo, bem como a versatilidade desse material. Com efeito, o concreto tem a capacidade de se adaptar à geometria das peças, possibilitando sua utilização em praticamente todo tipo de construção. Não bastasse, digna de nota ainda a possibilidade de prefixação de suas características, de modo a satisfazer às exigências de fabricação, concretagem, durabilidade e resistência mecânica (ALVES, 1993, p. 100).

Em razão de todos esses predicados é que o concreto se tornou, como já salientado, o material mais empregado no ramo da construção civil, sendo que, inicialmente, para a concepção das estruturas de concreto armado, os profissionais valiam-se do empirismo, apoiando-se na experiência acumulada a partir de construções anteriores cujas estruturas fossem semelhantes à que se desejava fazer no momento, motivo pelo qual se diz que, à época, havia apenas o “sentimento” de segurança (REPETTE, 1991, p. 1).

Com a evolução da mecânica das estruturas, houve uma racionalização do uso do concreto. E esse aperfeiçoamento se deu em sintonia com o processo de globalização, que exige das empresas e dos profissionais que os produtos e serviços ofertados possuam alto grau de qualidade e confiabilidade, haja vista a competitividade presente no mercado. É nesse contexto que teve vez o controle tecnológico do concreto, cujo foco principal é a supervisão dos procedimentos de ensaios em laboratório.

Dentre os aspectos a serem examinados no controle tecnológico, a resistência à compressão do concreto é a propriedade mais relevante, encontrando-se presente em muitas normalizações como exigência mínima de qualidade ou critério de aceitação (SOUSA, 2006, p. 38). Com efeito, é de vital importância conhecer o valor correto da resistência, dado que, estando abaixo do especificado no projeto, deve-se averiguar a necessidade de reforço à estrutura, a fim de que seja assegurada a segurança dos usuários (ADES, 2015, p. 31).

De fato, na eventualidade de o resultado obtido no ensaio estar abaixo do determinado pelo projetista, o lote do concreto em questão será classificado como “não conforme”, mostrando-se necessário que se dê início imediato a um plano de ação com vistas à adoção do tratamento mais apropriado para esse lote (ABECE, 2015, p. 2). Do contrário, inevitavelmente estarão comprometidos predicados cruciais de uma construção, como a confiabilidade, a longevidade e a segurança.

Nesse contexto, o engenheiro deve preocupar-se com a resistência do concreto a ser utilizado na obra, devendo para tanto estar atento aos fatores que podem influir nesse particular, como, por exemplo, o tipo de cimento, a variabilidade da água e dos agregados, a proporção dos materiais que compõem a mistura, bem

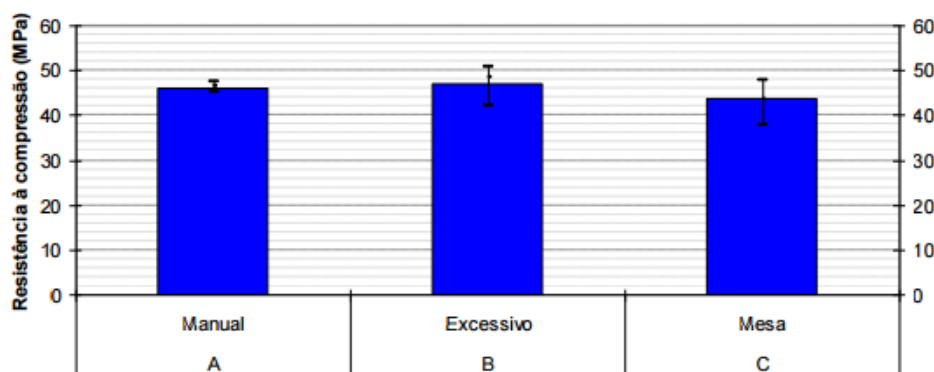
como o manuseio dos equipamentos utilizados, incluindo-se aqui o processo de adensamento (HELENE; TERZIAN, 1992, p. 205), que pode ser conceituado como

[...] a operação para a retirada do ar presente na massa do concreto, visando reduzir a porosidade ao máximo e o perfeito preenchimento das formas. O acompanhamento deste serviço visa à certificação de que todas as partes do concreto estão sendo adensadas, já que, caso não tenham sido, só será possível detectar após a desforma e aí a patologia já foi instalada (como, por exemplo, o aparecimento de brocas) e deverá ser tratada, gerando custos e retrabalhos (ADES, 2015, p. 88).

Para verificar se a resistência estimada foi obtida, os corpos de prova, cilíndricos ou prismáticos, devem ser moldados e curados conforme a NBR 5738. Prevê a normalização que, após a moldagem, o concreto pode ser submetido a dois métodos distintos de adensamento, manual ou mecânico por vibração (itens 7.4.2 e 7.4.3), não trazendo parâmetros específicos para esta última modalidade, sob a justificativa de que o tempo de vibração variará conforme a consistência do concreto e a eficiência do vibrador (item 7.4.3.1).

Diante da essencialidade de que o concreto utilizado na construção atenda à resistência estimada no projeto, sem perder de vista que a análise da resistência é feita principalmente por intermédio de ensaios com corpos de prova, cujo adensamento pode ser feito de dois modos distintos, sendo que para um deles não há sequer parâmetros precisos, faz-se necessário investigar se há variação na resistência a depender do tipo de adensamento eleito e, em caso positivo, qual deles melhor representa a resistência real da estrutura.

O referido questionamento já impulsionou a realização de um trabalho anteriormente. Segundo os resultados obtidos, os corpos de prova com adensamento manual apresentaram o menor desvio padrão. Os dos corpos de prova com adensamento em mesa por tempo excessivo, por sua vez, apresentaram-se ligeiramente superiores, mas com desvio padrão elevado. Já nos corpos de prova cujo adensamento em mesa vibratória se deu em condições normais, os resultados apresentaram-se ligeiramente menores e com desvio padrão também elevado (SILVA *et al.*, 2014, p. 4).



Fonte: SILVA *et al.*, 2014, p. 4.

Desse modo, além de abordar a relevância do concreto para a construção civil, bem como a importância de que sua resistência à compressão esteja em conformidade com os cálculos do projeto, procurou-se apresentar ainda nesta breve revisão teórica a influência do adensamento na resistência do concreto, as disposições da NBR 5738 acerca do adensamento do concreto no corpo de prova e o resultado de trabalho já realizado envolvendo a variação da resistência conforme o tipo de adensamento escolhido, representando esta pesquisa uma oportunidade de aprofundamento da temática.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, os procedimentos metodológicos tiveram por base inicialmente uma pesquisa bibliográfica, caracterizada pela capacidade de recuperação do conhecimento científico acumulado sobre um determinado assunto, no caso, o processo de adensamento, que integra o procedimento de formação dos corpos de prova.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de *web sites*. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 37).

Com efeito, para a compreensão do assunto abordado, foram identificados, levantados e analisados diversos tipos de produção acerca da temática que compõe o objeto da pesquisa, como, por exemplo, livros, artigos científicos, publicações em periódicos e, notadamente, dissertações de mestrado, em razão do crescente número de estudos nas universidades brasileiras que envolvem o tema proposto.

Com a leitura e o fichamento do material selecionado, deu-se a base teórica necessária à compreensão dos métodos atualmente existentes para adensamento do concreto no processo de formação dos corpos de prova. Da mesma forma, foi possível avaliar os resultados de pesquisas já realizadas sobre a temática.

Prosseguindo, o desenvolvimento do projeto não ficou restrito ao campo bibliográfico, contando também com previsão de um programa experimental. Com observância às disposições da ABNT NBR 5738, foram moldados cinco corpos de prova adensados de modo manual e cinco corpos de prova adensados mecanicamente (figura 1), a partir do traço em massa 1; 2; 3,68; 0,535 desenvolvido por ARIF (2014, p. 84), com resistência conhecida de 30 MPAs aos 28 dias.

Considerando que na prática todos se valem apenas do método manual, foram utilizadas de agulhas de imersão para adensamento mecânico de corpos de prova. Além disso, foi moldada uma viga de concreto, do mesmo material utilizado para a formação dos corpos de prova.

Figura 1. Moldagem de corpos de prova e viga



Fonte: dos autores

Na fase seguinte, com amparo na ABNT NBR 7680-1, que estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, procedeu-se à extração, com a utilização de equipamento disponível no laboratório do UNIPAM, de testemunhos da estrutura de concreto previamente construída.

FIGURA 2. Extração de testemunhos



FIGURA 3. Testemunhos após retificados



Fonte: dos autores

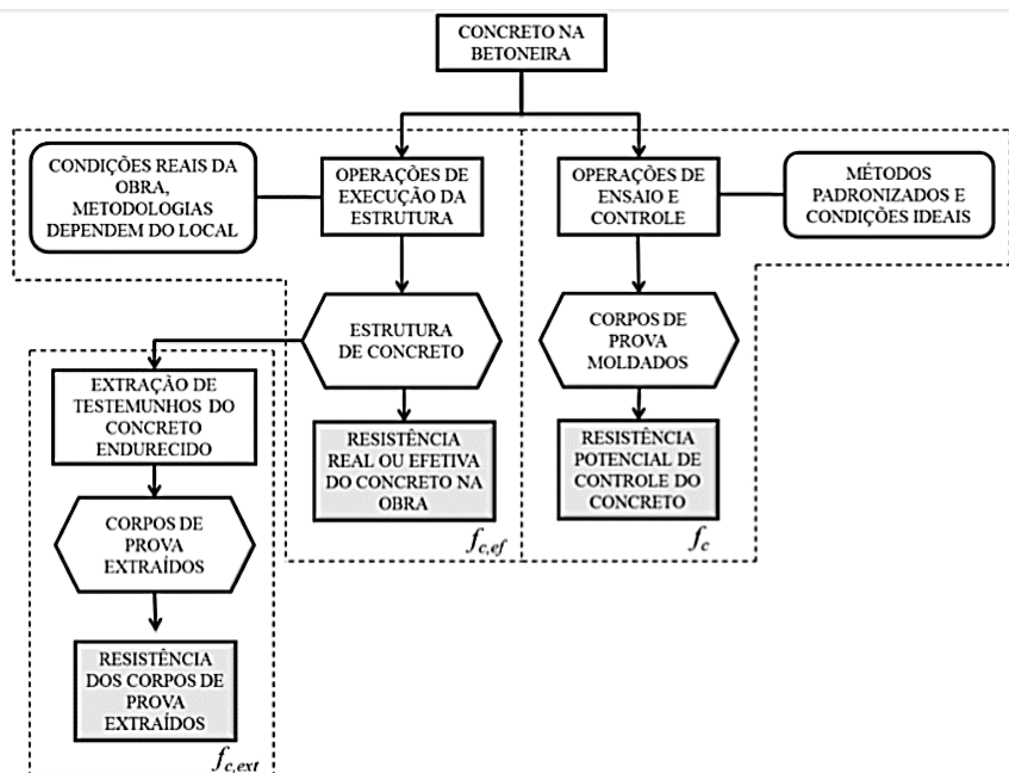
Desse modo, foram submetidos a ensaios os testemunhos extraídos anteriormente, bem como os corpos de prova, nos termos da NBR 5739, que prescreve o método de ensaio à compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto, valendo-se para tanto também do maquinário disponível no laboratório da instituição de ensino.

FIGURA 4. Ensaio de compressão axial



Fonte: dos autores

Assim, foi possível (i) avaliar se houve diferença de resistência à compressão entre os corpos de prova adensados de modo manual e os adensados mecanicamente com a utilização de uma agulha de imersão; e (ii) realizar a comparação da resistência dos corpos de prova com a resistência dos testemunhos extraídos, de modo a se identificar qual modalidade de adensamento retrata melhor a resistência real do concreto, tal como previsto na literatura especializada:



Fonte: HELENE; TERZIAN, 1992, p. 180.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ABNT NBR 7680, Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, estabelece que de acordo com as características que os testemunhos se encontram, é necessário fazer a aplicação de fatores de correção, são eles k_1 , k_2 , k_3 e k_4 . Esses coeficientes representam respectivamente relação entre a altura e o diâmetro, medidos antes do rompimento; efeito do broqueamento em razão do diâmetro; direção em que o testemunho foi extraído em relação ao lançamento do concreto; e efeito da umidade presente no testemunho.

A partir da caracterização dos testemunhos, antes do rompimento, foi possível realizar a tabulação dos coeficientes a serem aplicados em cada caso. Essas correções estão representadas na tabela 1.

TABELA 1. Coeficientes de ponderação

Coeficientes de correção testemunhos			
	CP1	CP2	CP3
k_1	-0,005	-0,005	0
k_2	0,057	0,0573	0,0576
k_3	0	0	0
k_4	0	0	0

Fonte: dos autores

Os valores da resistência inicial ($f_{ci,ext,inicial}$), encontrados no rompimento, mostrados no apêndice 1, estão demonstrados na tabela 2, como também o valor corrigido após a aplicação dos coeficientes ($f_{ci,ext}$).

TABELA 2. Fck Testemunhos

Fck testemunhos			
	CP1	CP2	CP3
$f_{ci,ext,inicial}$	31	26,1	25,2
$f_{ci,ext}$	32,6	27,5	26,7

Fonte: dos autores

Os corpos de prova moldados, manualmente (CPs de 1 a 5) e com agulhas de imersão (CPs de 6 a 10), também foram rompidos, e os valores encontrados foram corrigidos de acordo com a Tabela 3 apresentada pela ABNT NBR 5739 em razão da relação altura e diâmetro. Os resultados, antes e após a correção, estão apresentados na tabela 4, bem como no apêndice 2 e 3.

TABELA 3. Fator de correção h/d

Relação h/d	2	1,75	1,5	1,25	1
Fator de correção	1	0,98	0,96	0,93	0,87

Valores intermediários de h/d podem ser obtidos por meio de interpolação linear.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 5739.

TABELA 4. Fck inicial e corrigido corpos de prova

CP	h/d	$f_{ci,ext,inicial}$	$f_{ci,ext}$
1	0,99	26,8	26,5
2	0,99	27,3	27,0
3	0,98	26,8	26,3
4	0,99	25,9	25,6
5	0,98	25,9	25,4
		$f_{ci,med}$	26,2
6	0,99	23,6	23,4
7	0,99	23,6	23,4
8	0,99	23,5	23,3
9	0,98	26,4	25,9
10	0,99	25,7	25,4
		$f_{ci,med}$	24,3

Fonte: dos autores

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de compressão, foi possível mensurar e comparar o desvio padrão dentro do ensaio (S_c) e o coeficiente de variação dentro do ensaio (CV_e), apresentados na tabela 5.

TABELA 5. Desvio padrão e Coeficiente de variação

Adensamento	S_c (%)	CV_e
Manual	11,3	0,4299
Mecânico	10,4	0,4299

Fonte: dos autores

Também foi possível avaliar o tipo de ruptura dos corpos de prova, sendo predominante a ruptura colunar com formação de cones no adensamento manual e mecânico, e nos testemunhos, a ruptura tipo cisalhada, apresentadas, respectivamente, de acordo com as figuras 5, 6 e 7.

FIGURA 5. Linhas de ruptura adensamento manual



Fonte: dos autores

FIGURA 6. Linhas de ruptura adensamento mecânico



Fonte: dos autores

FIGURA 7. Linhas de ruptura testemunho



Fonte: dos autores

CONCLUSÃO

Após a análise da bibliografia selecionada, bem como da realização dos ensaios laboratoriais, foi possível verificar a relação entre a resistência do concreto moldado *in loco* e dos corpos de prova, moldados manual e mecanicamente. Os testemunhos extraídos apresentaram maior resistência entre os grupos avaliados, garantindo a segurança estrutural da edificação.

Analisando os resultados individualmente a maior resistência foi de 32,6 MPas, apresentado pelo corpo de prova adensado com o auxílio da agulha de imersão. Para a análise dos resultados, utilizou-se a média entre os valores encontrados em cada lote, sendo que os corpos de prova moldados manualmente apresentaram maior resistência média em relação aos moldados mecanicamente, com 26,2 MPas e 24,3 MPas. Todos os valores apresentados após aplicação os devidos fatores de correção.

Além disso, foram analisados também o desvio padrão e o coeficiente de variação das amostras. O desvio apresentado está dentro dos índices aceitáveis conforme registrado na Tabela 6 da NBR 12655, de 7 MPas para o concreto feito manualmente na condição C – controle regular. O coeficiente de variação encontrado também atende as exigências expressas na ABNT NBR 5739, que define como excelente os valores menores que 3,0.

REFERÊNCIAS

ADES, Andréa Zebulum. *A importância do controle tecnológico na fase estrutural em obras de edificações*. 2015. 89 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ALVES, José Dafico. *Manual de Tecnologia do Concreto*. Goiânia: Editora UFG, 1993.

ARIF, M. A. *Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Pavimento de concreto: adensamento do concreto por vibração*. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/adensamento_concreto_por_vibracao.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. *Recomendação ABECE 001:2015: Análise de Casos de Não Conformidade de Concreto*. São Paulo, 2015. Disponível em:<http://www.abece.com.br/pdf/folder_recomendacao1_digital.pdf>. Acesso em: 20 fev. 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 –Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7680: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas deconcreto* Rio de Janeiro, 2015.

Congresso Técnico Científico de Engenharia e Agronomia, 2016, Foz do Iguaçu. *Ensaio de compressão de corpos de prova de concreto e de extração de testemunho – comparativo*. Foz do Iguaçu: Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, 2016.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. *Manual de dosagem e controle do concreto*. Brasília: SENAI, 1992.

JORDÃO, Fernanda Ribeiro. *Caracterização de variáveis que influenciam na vida útil da estrutura de concreto*. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

JURAN, Joseph Moses. *A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

MAGALHÃES, Fábio Costa. *A Problemática dos concretos não conformes e sua influência*

na confiabilidade de pilares de concreto armado. 2014. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MASCOLO, Rafael. *Concreto usinado: análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira*. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MEHTA, PovindarKumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, Adam Matthew; BROOKS, Jeffrey John. *Tecnologia do concreto*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

REPETTE, Wellington Longuini. *Contribuição à inspeção e à avaliação da segurança de estruturas acabadas de concreto armado*. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

ROVER, Ardinete (coord.). *Metodologia científica: educação a distância*. Joaçaba: UNOESC, 2006.

SILVA, Mateus Justino da *et al.* *Resultados do ensaio de resistência à compressão em concretos*. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/104-037.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

SOUSA, Gabriela Gonçalves de. *Influência dos procedimentos de ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos no controle de qualidade do concreto*. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

APÊNDICE 1

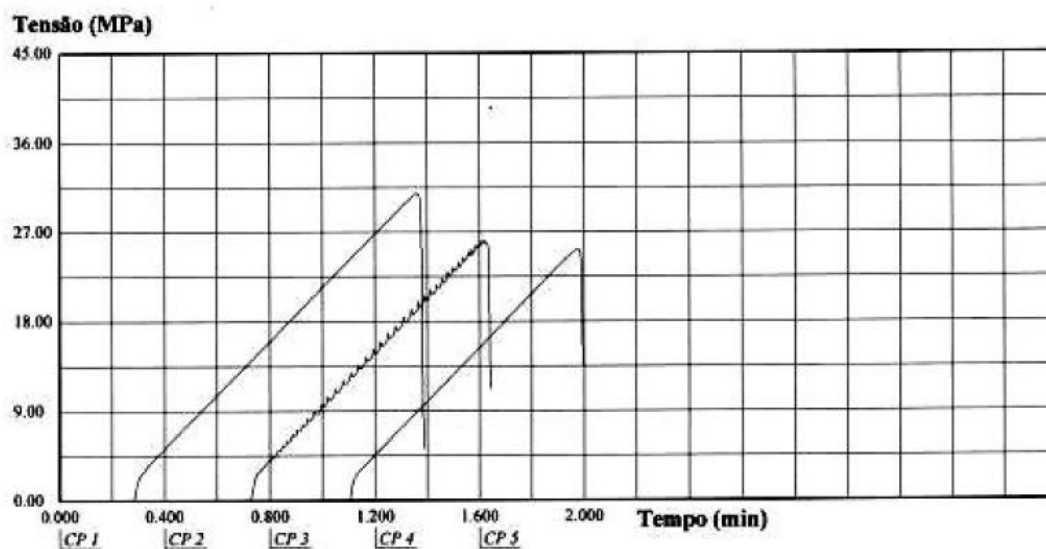
UNIPAM

LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DOS MATERIAIS

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL20000 Célula: Trd 30 Extensômetro: Trd 3 Data: 17/08/2017 Hora: 14:40:44 Trabalho n° **11356**
 Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: Compressão Concreto - NBR 5739
 Ident. Amostra: >>>>>>>>> AMOSTRA: TESTEMUNHO VIGA DATA MOLDAGEM: 14/07/2017 EMPRESA: MARCIO

Corpo de Prova	Taxa de Tensão (MPa/s)	Área (mm ²)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	0.45	7088.2	219385.9	31.0
CP 2	0.45	7163.0	187095.7	26.1
CP 3	0.45	7238.2	182665.4	25.2
Número CPs	3	3	3	3
Média	0.4500	7163	196400	27.44
Desv. Padrão	0.0000	75.01	20040	3.076
Coef. Var. (%)	0.0000	1.047	10.21	11.21



Observação: FOI REALIZADO NO LABORATÓRIO APENAS O ROMPIMENTO DO CORPO DE PROVA, A MOLDAGEM E CURA FORAM REALIZADOS PELO CLIENTE.

