

Concreto de alto desempenho utilizando agregados disponíveis na região de Patos de Minas - MG

G.F. Silva^{a†}, C.F. Silva^b, G.J. Silva^c

^a Centro Universitário de Patos de Minas - Patos de Minas, Brasil

^b Faculdade do Noroeste de Minas - Patos de Minas, Brasil

^c Faculdade Patos de Minas, Patos de Minas, Brasil

[†] Autor para correspondência: gean.fgsilva@gmail.com

RESUMO

O seguinte trabalho busca avaliar os agregados da região de Patos de Minas - MG, afim de produzir um concreto de alto desempenho. Utilizando o cimento CPV e diferentes teores de sílica ativa, realizando ensaios para caracterizar suas resistências mecânicas. Para determinar a melhor proporção dos agregados, foi feito o estudo do empacotamento dos mesmos. Após definir a melhor proporção dos agregados estudou-se a dosagem do concreto, acrescentando teores de 10, 15 e 20% de sílica ativa. O concreto produzido com teor de 15% de sílica ativa apresentou o melhor resultado de resistência. Apesar do estudo não alcançar o objetivo de chegar à uma resistência de 80 MPa, conseguiu-se resistência bem próxima do esperado, 76,7 MPa. Contudo, conclui-se que é possível produzir um concreto de alto desempenho com os agregados disponíveis na região.

Cronologia do artigo:

Recebido a 22 outubro 2017

Aceite a 20 maio 2019

Publicado a 08 maio 2020

Palavras-chave:

Concreto de alto desempenho
Agregados da região de Patos de
Minas - MG
Resistência

1. Introdução

O concreto pode ser definido de uma maneira concisa, como uma pedra artificial que possui uma elevada resistência, e que pode ser moldada de acordo com a necessidade construtiva do homem. É um material formado pela mistura entre água, cimento, agregados (areia e pedra) e, eventualmente, adições.

Com o passar do tempo, foi crescente o desejo e a necessidade da humanidade de conseguir vencer grandes vãos, construir prédios cada vez maiores, aumentar a impermeabilidade e a durabilidade das estruturas. Para conseguir isso, as propriedades dos materiais utilizados tiveram de ser cada vez mais potencializadas.

(Mendes, 2002) entende que o estudo da estrutura do concreto e do surgimento de novos materiais, como os superplastificantes e as adições minerais (estes que conseguem melhorar as propriedades do concreto) tem alavancado avanços significativos na produção do mesmo. Proporcionando assim o surgimento de um concreto com maior resistência química e à compressão, baixa permeabilidade, maior durabilidade, entre outros.

O estudo justificou-se pelo fato de que na cidade de Patos de Minas - MG a aplicação do concreto de alto desempenho (CAD) em obras não é usual, pois se trata de um assunto relativamente recente na região e sua obtenção depende de uma melhor seleção dos materiais e um maior controle tecnológico em seu processo de fabricação.

Pretendeu-se com essa pesquisa avaliar a potencialidade dos agregados da região de Patos de Minas, investigar a influência da sílica ativa em contato com os outros materiais do concreto, comparar a resistência do concreto produzido ao ensaio de compressão.

Planeja-se analisar os agregados da região construindo o empacotamento destes materiais (grãos, miúdos), fazendo um estudo da dosagem e construção adequada para atingir um concreto de alto desempenho, utilizando o cimento CPV e diferentes teores de sílica ativa (10%, 15%, 20%) e, por fim, realizar ensaios para caracterizar as resistências mecânicas, analisando os resultados quanto ao atendimento ao concreto de alto desempenho.

2. Histórico

De acordo com Filho (2001), os concretos de alta resistência surgiram em meados dos anos 50 e sua

definição tem sido mudado ao longo dos anos, graças a uma evolução tecnológica baseada em pesquisas aplicadas nessa área, e a inclusão de materiais como a sílica ativa e superplastificantes dentre os constituintes do concreto. A inclusão desses materiais melhorou a resistência dos concretos e também outras propriedades como a impermeabilidade e a durabilidade.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), em 1998 a ACI (Technical Activities Committee) definiu e caracterizou o concreto de alto desempenho como, “um concreto que atenda uma combinação especial entre desempenho e requisitos de uniformidade que não podem ser atingidas sempre, rotineiramente com uso de componentes convencionais e práticas normais de mistura, lançamento e cura”. (ACI, 1998 apud Mehta; Monteiro, 2014, p. 525).

Porém com o passar do tempo vários pesquisadores foram moldando sua própria definição de concreto de alto desempenho, baseando-se em estudos e pesquisas realizadas nessa área.

(Isaia 2011) ressalta que grande parte da literatura concorda que o concreto de alto desempenho é definido essencialmente por ter uma baixa relação água/aglomerante (a/ag), estabelecida em 0,40. Sendo essa relação o parâmetro mais adequado para estabelecer o limite entre concretos usuais e concretos de alto desempenho. Essa definição tem a vantagem de indicar que não existe um único tipo de concreto de alto desempenho, mas uma família de novos tipos de concretos, considerados de alta tecnologia.

3. Materiais e programa experimental

A obtenção do CAD está diretamente associada à relação água/aglomerante, quando está relação é muito baixa geralmente são utilizados aditivos para a obtenção de uma melhor trabalhabilidade do concreto.

Realizou-se o desenvolvimento do estudo no Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais de Construção no Centro Universitário de Patos de Minas. Dividiu-se o estudo em 5 etapas: seleção e análise dos agregados (grãos e miúdos) da região de Patos de Minas, construção do empacotamento destes materiais, realização do estudo de dosagem para atingir um concreto de alto desempenho, produção e preparo dos corpos de prova, ensaio de compressão para caracterizar a resistência mecânica.

3.1. Seleção e análise dos agregados

A pesquisa tem a finalidade de tentar produzir um concreto de alto desempenho com os agregados da região e que possa ser posteriormente produzido de maneira simples. Obteve-se então os materiais na cidade de Patos de Minas – MG, nenhum deles sofreu qualquer tipo de alteração afim de tentar melhorar suas características, como por exemplo: lavagem para diminuição da quantidade de pó dos agregados; peneiramento para uma melhor curva granulométrica, etc.

É imprescindível ressaltar que no concreto de alto desempenho o agregado grão se torna o elo mais fraco da mistura, por esse motivo não se deve utilizar agregados lamelares, alongados e com dimensões máximas acima de 20 mm.

3.2. Empacotamento dos agregados

Para encontrar o melhor empacotamento dos agregados, ensaiou-se várias combinações de porcentagem dos agregados utilizados (brita 0 e areia média). Começando com 100% de areia média e 0% de brita 0. Em seguida foi acrescido uma determinada quantidade de brita 0, afim da mistura final ter 90% de areia média e 10% de brita 0. Em seguida foi feito o mesmo procedimento, afim da mistura final ter 80% de areia média e 20% de brita 0. Este procedimento se repetiu por várias vezes, de maneira que a quantidade de brita 0 aumentasse em 10% do total da mistura final. Exceto em algumas ocasiões especiais em que a porcentagem aumentada foi de 5%, para se obter uma melhor precisão dos resultados.

3.3. Estudo da dosagem

Na literatura não há um método específico para a dosagem do concreto de alto desempenho. Mas existem vários métodos e especificações que caso sejam combinadas entre si, podem facilitar a obtenção de um concreto de alto desempenho.

A definição da dosagem de cada material seguiu-se da seguinte forma.

3.3.1. Cimento

Para a produção do concreto utilizou-se o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV). A principal razão para a escolha desse tipo de cimento partiu das seguintes premissas: O cimento CPV tem a característica de possuir o mínimo possível de adições, o que resulta em um maior teor de clínquer na

composição final em comparação a outros cimentos. Durante a fabricação, o clínquer destinado ao CPV permanece no processo de moagem por maior tempo, o que garante que seus grãos sejam menores.

Através das premissas anteriores, podemos entender que o cimento CPV, consegue chegar a uma resistência significativamente superior aos demais tipos de cimento.

Como a intenção é a de conseguir produzir um concreto com a maior resistência possível, decidiu-se utilizar 650 kg/m^3 de cimento.

3.3.2. Água de amassamento

A água utilizada para a produção do concreto é proveniente da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), empresa que abastece e distribui a água na cidade de Patos de Minas.

Com a quantidade de cimento já definida e sabendo que a resistência do concreto está diretamente ligada a relação água/aglomerante o segundo passo foi definir a quantidade de água, utilizando a figura 1. Onde o autor fornece uma curva teórica para correlacionar a relação a/ag com a resistência à compressão aos 28 dias, baseada em uma série de resultados obtidos em pesquisas anteriores.

Para tentar chegar a uma resistência de 80 MPa escolheu-se através da figura 1 a relação água/aglomerante de 0,31.

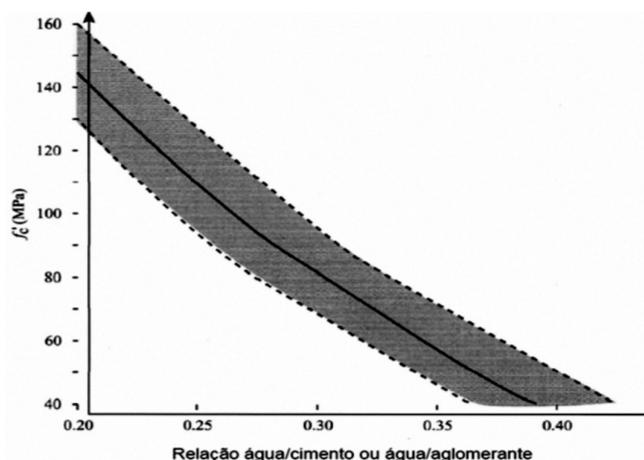


Figura 1 - Correlação entre a relação a/ag e a resistência à compressão aos 28 dias (AITCIN, 2000).

3.3.3. Silica ativa

Como uma das intenções da pesquisa é estudar a influência da porcentagem da sílica ativa em uma determinada massa de cimento, com as propriedades do concreto. A massa de cimento foi a mesma para todos os traços. Enquanto foram definidos 3 traços com porcentagens distintas de sílica ativa em relação a massa de cimento, sendo elas 10, 15 e 20%.

3.3.4. Filer

Objetiva-se com o uso deste material diminuir os vazios existentes no concreto devido a sua elevada finura, ajudando assim o mesmo a ter um melhor desempenho tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Como o cimento utilizado foi o CPV, material este, que tem uma adição de filer menor que os demais cimentos, e a relação a/ag era muito baixa, decidiu-se utilizar o valor de 10% de filer sobre a massa do cimento para ajudar a dar uma melhor trabalhabilidade ao concreto.

3.3.5. Aditivo químico

O aditivo utilizado, foi o aditivo superplastificante ADVA™ CAST 525, fornecido pela empresa GRACE. Segundo seu fabricante este é um produto especialmente formulado para a produção de concretos auto-adensáveis.

Mas como ele é feito à base de policarboxilatos, ou seja, possui um alto poder de redução de água. O mesmo oferece um excelente resultado na produção do concreto de alto desempenho, tendo em vista que quanto menor a relação a/ag, maior a resistência do mesmo.

A porcentagem de aditivo utilizado foi de 2,4% em relação a massa de cimento.

3.3.6. Agregados

O concreto em estado fresco possui massa específica de 2400 kg/m^3 . Dispondo dessa informação e

conhecendo todos os outros materiais constituintes do concreto (cimento, sílica ativa, fíler e água). O consumo dos agregados foi definido através da Equação 1.

$$m = 2400 - c - si - fi - ad - a \quad (1)$$

onde:

m: massa dos agregados (graúdo e miúdo) utilizado em 1 m³ de concreto (kg);

c: massa de cimento utilizada em 1 m³ de concreto (kg);

si: massa de sílica ativa utilizada em 1 m³ de concreto (kg);

fi: massa de fíler utilizado em 1 m³ de concreto (kg);

ad: massa de aditivo superplastificante utilizado em 1 m³ de concreto (kg);

a: massa de água utilizada em 1 m³ de concreto (kg);

Após encontrar o valor de m que é mistura entre areia e brita 0, foi determinada a quantidade de cada uma desses, através do empacotamento dos agregados.

3.4. Produção do concreto

Produziu-se os concretos em uma betoneira de eixo inclinado com tambor giratório. Antes da colocação dos materiais, foi feita uma breve limpeza, para garantia de um concreto livre de eventuais restos de outros concretos ou poeiras.

O lançamento dos materiais na betoneira foi realizado da seguinte forma:

A água utilizada na execução do concreto foi dividida em 2 partes iguais. Na primeira parte foi acrescido o aditivo superplastificante.

Os agregados foram misturados por cerca de 3 minutos, para total homogeneização. Seguidamente, a primeira parte da água foi inserida.

Em seguida, foram adicionados os outros constituintes do concreto (cimento, fíler, sílica ativa). Posteriormente, adicionou-se o restante da água. Feito isso esperou-se a completa homogeneização da mistura.

3.5. Produção dos corpos de provas

Moldou-se os corpos de prova de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 em formas cilíndricas de diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm. Fez-se o adensamento de forma manual. Posteriormente a moldagem, os corpos de prova ficaram no laboratório durante 24 horas, logo após foram retirados das fôrmas e colocados dentro de um quarto úmido (para um melhor processo de cura dos mesmos) até as idades em que suas resistências foram analisadas.

3.6. Ensaio de compressão para caracterização da resistência mecânica

As execuções dos ensaios de resistência à compressão foram realizadas nas idades de 7, 14 e 28 dias. Os corpos de prova foram executados em uma prensa Emic DL20000 com capacidade de carga de 2000 KN. Todos os ensaios obedeceram às prescrições da ABNT NBR 5739:2007. Onde a mesma determina que o carregamento seja aplicado de forma contínua, em uma velocidade de 0,45 MPa/s.

Antes da realização do ensaio de resistência todos os corpos-de-prova foram retificados com a finalidade de se obter superfícies planas para uma distribuição uniforme da carga.

4. Resultados e discussão

De acordo com a pesquisa e com os experimentos realizados, este capítulo apresenta o resultado do melhor empacotamento dos agregados da região de Patos de Minas. Estudou-se também o desempenho do traço utilizado, quanto ao atendimento ao concreto de alto desempenho, nas idades de 7, 14 e 28 dias e a influência da sílica ativa no concreto de alto desempenho.

4.1. Empacotamento dos agregados

O empacotamento dos agregados tem por finalidade melhorar o agrupamento dos materiais constituintes da mistura do concreto, ou seja, preencher o máximo de vazios possíveis. Esse é um método empírico, portanto é feito através de tentativas.

Vê-se pela Tabela 1 o melhor empacotamento, que foi na proporção de 45% para areia e 55% para brita 0, onde a massa da mistura foi de 18,30 kg.

Tabela 1 - Empacotamento dos agregados utilizados na produção do concreto.

Empacotamento dos agregados					
Proporção		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Areia (%)	Brita (%)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
100	0	15,80	15,65	15,75	15,73
90	10	16,30	16,30	16,30	16,30
80	20	16,80	16,95	17,05	16,93
70	30	17,35	17,40	17,55	17,43
60	40	17,85	17,90	17,95	17,90
50	50	18,05	18,35	18,25	18,22
45	55	18,25	18,30	18,35	18,30
40	60	18,30	18,20	17,98	18,16
35	65	17,95	18,10	18,00	18,02

4.2. Estudo da dosagem

A pesquisa tem como objetivo avaliar as propriedades do concreto através da adição de sílica ativa em porcentagens de 10, 15 e 20%, em relação a massa de cimento. Portanto os materiais como cimento, filer, água e aditivo superplastificante permaneceram iguais para os 3 traços. Já os agregados e a sílica ativa tiveram seus teores variados de acordo com a porcentagem de sílica utilizada na mistura de cada traço.

A quantidade de agregados não permaneceu constante devido ao fato da massa específica ideal do concreto ser de 2400 kg/m³. Caso ocorresse a adição da sílica ativa sem o devido ajuste dos agregados, esse valor seria superior ao ideal.

Na Tabela 2 observa-se a proporção dos 3 traços realizados durante a pesquisa.

Tabela 2 - Proporção dos traços utilizados para produção do concreto.

Traço	Cimento	Areia	Brita 0	Sílica ativa	Filer	Aditivo sp.	Água
10% sílica ativa	1,00	0,976	1,193	0,10	0,10	0,024	0,31
15% sílica ativa	1,00	0,953	1,165	0,15	0,10	0,024	0,31
20% sílica ativa	1,00	0,931	1,138	0,20	0,10	0,024	0,31

A quantidade de cimento utilizado, em massa, para a produção de 10 litros de concreto, foi encontrada multiplicando a quantidade de cimento utilizado em 1 m³ de concreto pela quantidade de concreto desejada, um exemplo desse cálculo pode ser visto na Equação 2. Os demais materiais foram encontrados multiplicando a massa de cimento pelo traço da Tabela 2, alguns exemplos desses cálculos vê-se nas Equações (3 a 8). Expressou-se todos os valores encontrados na Tabela 3.

Exemplo – 10% sílica ativa:

$$\text{Massa de cimento} - 625 \text{ kg/m}^3 * 0,010 \text{ m}^3 = 6,25 \text{ kg} \quad (2)$$

$$\text{Massa de areia} - 6,25 \text{ kg} * 0,976 = 6,099 \text{ kg} \quad (3)$$

$$\text{Massa de brita 0} - 6,25 \text{ kg} * 1,193 = 7,453 \text{ kg} \quad (4)$$

$$\text{Massa de sílica ativa} - 6,25 \text{ kg} * 0,10 = 0,625 \text{ kg} \quad (5)$$

$$\text{Massa de filer} - 6,25 \text{ kg} * 0,10 = 0,625 \text{ kg} \quad (6)$$

$$\text{Massa de aditivo} - 6,25 \text{ kg} * 0,024 = 0,15 \text{ kg} \quad (7)$$

$$\text{Massa de água} - 6,25 \text{ kg} * 0,31 = 1,938 \text{ kg} \quad (8)$$

Tabela 3 - Quantidade de material utilizado em cada traço para obtenção de 10 litros de concreto.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Sílica ativa (kg)	Filer (kg)	Aditivo sp. (kg)	Água (kg)
10% sílica ativa	6,25	6,099	7,453	0,625	0,625	0,15	1,938
15% sílica ativa	6,25	5,958	7,281	0,938	0,625	0,15	1,938
20% sílica ativa	6,25	5,817	7,110	1,250	0,625	0,15	1,938

4.3. Ensaio de compressão para caracterização da resistência mecânica

A quantidade de corpos de provas ensaiados e os resultados a compressão do concreto, foram divididos por sua idade. Sendo assim os resultados obtidos para a idade de 7 dias podem vê-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Resistência do concreto aos 7 dias.

	Corpos de prova	fck (MPa)	
10% sílica ativa	2	48,2	32,8
15% sílica ativa	2	44,6	43,4
20% sílica ativa	2	38,9	43,3

Considerando o maior valor obtido dos 6 corpos de provas, pode ser definido que o maior valor da resistência à compressão do concreto aos 7 dias foi o com adição de 10% de sílica ativa.

Os resultados obtidos para a idade de 14 dias podem vê-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Resistência do concreto aos 14 dias.

	Corpos de prova	fck (MPa)	
10% sílica ativa	2	53,7	45,8
15% sílica ativa	2	49,7	37
20% sílica ativa	2	45,5	47

Observando a Tabela 5, e comparando os 6 corpos de provas ensaiados pode-se notar que o maior valor para a resistência a compressão aos 14 dias ainda é do concreto com adição de 10% de sílica ativa.

Os resultados obtidos para a idade de 28 dias podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 - Resistência do concreto aos 28 dias.

	Corpos de prova	fck (MPa)	
10% sílica ativa	2	54,7	49,2
15% sílica ativa	2	76,7	60,5
20% sílica ativa	2	53,1	56,5

Aos 28 dias podemos notar que o concreto com maior resistência a compressão foi o de teor de 15% de adição de sílica ativa, com uma resistência de 76,7 MPa.

A evolução dos concretos citados anteriormente, podem ser melhores analisadas na Figura 2.

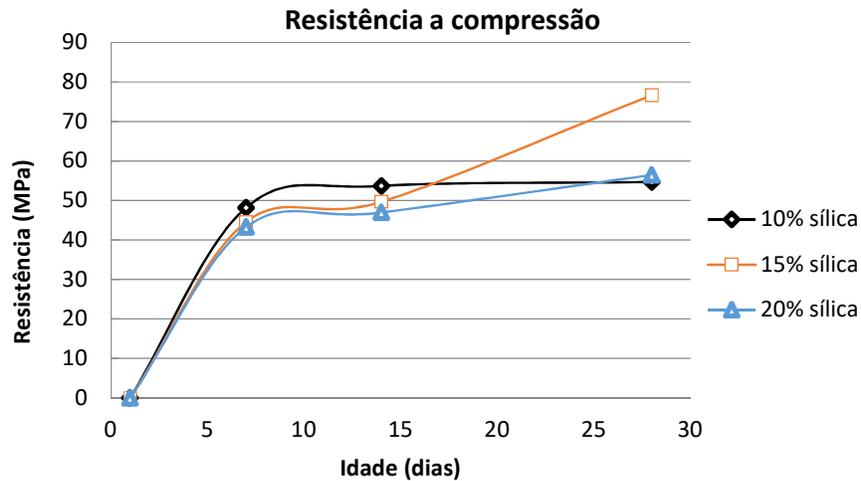


Figura 2 - Resistência do ensaio a compressão do concreto em variação do tempo.

Através dos resultados obtidos, observou-se que o concreto com teor de 10% de sílica ativa em

relação a massa de cimento, teve um melhor desempenho em relação aos demais nas primeiras idades estudadas, 7 e 14 dias. Isso pode ser explicado devido ao fato de que nessas baixas idades a sílica ativa pode não contribuir com o efeito pozolânico, que é normalmente mais lento.

Já no concreto com teor de sílica de 15%, a matriz cimentícia possivelmente apresentou menor compacidade comparada ao teor de 10%. Porém, com o tempo foi acontecendo a hidratação do cimento formando maiores quantidades de CH (hidróxido de cálcio), material este que em contato com a sílica, gera o C-S-H (silicato de cálcio hidratado), que é responsável pelo aumento significativo da sua resistência.

Comparado aos concretos com teores de 10 e 15% de sílica ativa, suspeita-se que o teor de 20% de sílica deixou uma quantidade de sílica inerte após o consumo nas reações pozolânicas. A sílica inerte pode ter sido prejudicial por atuar como uma espécie de agregado, porém com dureza (resistência) muito baixa.

5. Conclusão

O empacotamento ideal para os agregados adquiridos na região de Patos de Minas foi encontrado nas proporções de 45 % por 55 % de areia e brita 0, respectivamente.

Através do estudo de dosagem pôde-se comprovar que a relação de água/aglomerante de 0,31 foi primordial para obtenção do concreto de alto desempenho. Graças a utilização do aditivo superplastificante ADVA™ CAST 525, foi possível conseguir um concreto com alta trabalhabilidade, mesmo com uma relação a/ag relativamente baixa.

Foi possível com o estudo realizado, determinar que o teor de sílica ativa ideal para o tipo de cimento utilizado foi o de 15%. Essa afirmação não se restringe apenas ao quesito resistência, mas também para garantia da trabalhabilidade do mesmo.

O objetivo de 80 MPa para a resistência aos 28 dias do concreto não foi atingido. Porém obteve-se resultados satisfatórios, chegando a 76,7 MPa. Sendo assim, o estudo comprova que é possível chegar a um concreto de alto desempenho com os materiais típicos da região, de uma maneira acessível e de simples manuseio.

Referências

- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: 5738. Rio de Janeiro, 2015.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio: NBR 7211. Rio de Janeiro, 2007.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão: 8522. Rio de Janeiro, 2008.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Agregados para concreto – Especificação: NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos: NBR 11768. Rio de Janeiro, 2011.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Materiais pozolânicos – Especificação: NBR 12653. Rio de Janeiro, 2014.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação de peneiras de ensaio com tela de tecido metálico: NBR NM ISO 3310. Rio de Janeiro, 2010.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2009.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53. Rio de Janeiro, 2009.
- Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo, São Paulo: *IBRACON*, Jan. fev. mar 2009.
- Filho, José Américo Alves Salvador. Cura térmica dos concretos de alto desempenho: Análise das propriedades mecânicas utilizando o método da maturidade. 2001. 105 f. Dissertação (Mestrado) –

- Curso de Engenharia Civil, UNESP. Ilha Solteira, 2001.
- Fonseca, Gustavo Celso da. Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica. 2010. 106 f. Dissertação 58
- Isaia, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. V. 01, São Paulo: *IBRACON*, 2011.
- Isaia, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. V. 02, São Paulo: *IBRACON*, 2011.
- Nicola, Andrei. Blocos de Concreto. 2010. 69 f. Dissertação (Graduação) – Curso de Engenharia Floresta, Universidade Federal do Tocantins, Gurube, 2010.
- Mehta, P. K. Monteiro, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: Ed. *PINI*, 2º Edição, 2014.
- Mendes, Sandro Eduardo da Silveira. Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba. 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- Neville, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo: *PINI*, 1997.
- Silva, Guilherme Jorge Brigolini. Dissertação de Mestrado, Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição de Resíduo de Polimento do Porcelanato. Engenharia Metalúrgicas e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.