

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o texto completo desta Dissertação será disponibilizado somente a partir de 31/07/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais

PEDRO LUCAS PRUNUNCIATI

**VIABILIDADE DA ESTIMATIVA DE VAZÃO DE CONCRETO
AUTOADENSÁVEL POR MEIO DE CORRELAÇÕES COM
PARÂMETROS DO ENSAIO DE ESPALHAMENTO**

SOROCABA/SP

2023

PEDRO LUCAS PRUNUNCIATI

**VIABILIDADE DA ESTIMATIVA DE VAZÃO DE CONCRETO
AUTOADENSÁVEL POR MEIO DE CORRELAÇÕES COM
PARÂMETROS DO ENSAIO DE ESPALHAMENTO**

Dissertação apresentada como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Ciência e
Tecnologia de Materiais da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. Steven Frederick Durrant
Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Henrique Geraldo

SOROCABA/SP

2023

P972v

Prununciati, Pedro Lucas

Viabilidade da estimativa de vazão de concreto
autoadensável por meio de correlações com parâmetros do
ensaio de espalhamento / Pedro Lucas Prununciati. --
Sorocaba, 2023
89 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Steven Frederick Durrant
Coorientador: Rodrigo Henrique Geraldo

1. Materiais de construção. 2. Concreto. 3. Reologia. I.

Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE PEDRO LUCAS PRUNUNCIATI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 31 dias do mês de janeiro do ano de 2023, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de PEDRO LUCAS PRUNUNCIATI, intitulada **"Viabilidade da estimativa de vazão de concreto autoadensável por meio de correlações com parâmetros do ensaio de espalhamento"**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. STEVEN FREDERICK DURRANT (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Controle e Automacao / ICT - Unesp Sorocaba, Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO DE MILITO (Participação Virtual) do(a) Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS), Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciencia e Tecnologia Campus de Sorocaba Unesp. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. STEVEN FREDERICK DURRANT

Dedico esse trabalho ao meu pai, Augusto, pelo apoio e incentivo durante jornada e por me ajudar a desenvolver os ensaios durante os momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me mostrar o caminho e por estar sempre presente durante essa jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais “POSMAT”, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Aos meus pais, Augusto e Salete, pelo apoio, incentivo e pelos conselhos.

Ao meu irmão, Guilherme, grande companheiro, pelo incentivo incessante a buscar sempre o melhor.

Ao Prof. Dr. Steven F. Durrant, por aceitar o desafio dessa orientação, por compartilhar seus conhecimentos acadêmicos na área de física, e por estar sempre à disposição para contribuir no desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Rodrigo H. Geraldo, por estar à disposição como coorientador, por compartilhar seus conhecimentos na área de concreto e ajudar, contribuindo de forma positiva para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos João e Geraldo, pelo incentivo de seguir em frente e continuar com o desenvolvimento da ideia desse trabalho.

Ao Lemat da Facens, pela execução de ensaios de caracterização dos materiais e resistência à compressão axial do concreto e por fornecer os equipamentos para o ensaio de espalhamento.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para o desenvolvimento e realização desse trabalho.

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

RESUMO

Para tentar contribuir com o desenvolvimento do controle de volume de concreto entregue na obra, o presente trabalho mostra um estudo inicial para verificar a possibilidade de medição de vazão (e consequentemente o volume, considerando que o tempo de vazão pode ser medido) de concretos autoadensáveis que escoam dentro de um tubo de volume conhecido, a partir da correlação entre a velocidade média de espalhamento (obtida por meio dos ensaios de espalhamento) e a velocidade de escoamento, obtida pelo ensaio de vazão sugerido. Para tal, quatro traços-base foram desenvolvidos (nomeados I a IV) e quatro combinações de aditivos superplastificantes e modificador de viscosidade foram aplicadas em cada um deles (resultando em dezesseis “situações”, nomeadas “S1” a “S16”). Os resultados revelaram dezesseis traços estáveis, sendo oito classificados como SF1 e oito como SF2 (de acordo com a NBR 15823-1). Após as correlações da velocidade de espalhamento com a velocidade de vazão, foi possível desenvolver quatro cenários para mensurar a vazão: o primeiro, utiliza a classificação de espalhamento SF1 e SF2 e a velocidade média de espalhamento medida até a marca de 500 mm. Essa combinação resultou uma equação capaz de estimar uma relação média de 1,00 entre a vazão estimada/vazão ensaiada dos traços, com desvio padrão de 0,15. No segundo cenário, em que a classificação de espalhamento da norma não foi considerada (e a velocidade média de espalhamento medida até a marca de 500 mm), a relação média foi de 1,01 e o desvio padrão de 0,23. No terceiro cenário (que considera a classificação de espalhamento da norma) e no quarto (que não separa os traços pela classificação de espalhamento), a velocidade média de espalhamento está vinculada ao diâmetro final que o concreto atinge no término do ensaio. Nesses cenários, a relação média entre a vazão estimada/ vazão ensaiada dos traços foi de 1,00 e 1,01, respectivamente, com desvio padrão de 0,17 e 0,25.

Palavras-chave: concreto autoadensável, reologia, vazão de concreto.

ABSTRACT

Attempting to control the delivered volume of concrete on construction sites, the present work shows an initial study to verify the possibility to measure self-compacting concrete flow rates (and consequently the volume, considering that the flow time can be measured) inside a tube of known volume, by correlating the spreading diameter average speed (obtained from slump cone tests) and average flow speed, obtained by the abovementioned flow rate test. To do this, four standard-mixtures were developed (named I to IV) and four combinations of superplasticizer and viscosity modifier admixtures were applied to each (resulting in sixteen “situations”, named “S1” to “S16”). The results revealed sixteen stable mixtures, eight classified as SF1 and eight as SF2 (according to NBR 15823-1). From the average speed of the spreading diameter and flow rate average speed correlations, it was possible to develop four scenarios to determine the flow rate: the first uses the SF1 and SF2 spreading classifications and the average spreading diameter speed, determined when the concrete reached the 500 mm mark. This combination resulted in an equation capable of estimating one average relation between the estimated flow rate/tested flow rate of 1.00, with a standard deviation of 0.15. The second scenario, in which the spreading classifications were not considered (and the average spreading diameter speed was determined when the concrete reached the 500 mm mark), the average relation was 1.01 with a 0.23 standard deviation. For the third scenario (which considers the spreading classifications) and the fourth (which does not separate the mixtures by the spreading classifications), the average speed of the spreading diameter is related to the final diameter that the concrete reached at the end of the test. For these scenarios, the average relations between the estimated flow rate/tested flow rate were 1.00 and 1.01, respectively, and the standard deviation were 0.17 and 0.25.

Keywords: self-compacting concrete, rheology, concrete flow.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	12
2 - OBJETIVOS	14
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 - O concreto	16
3.1.1 - Cimento Portland	18
3.1.2 - Agregado miúdo	19
3.1.3 - Agregado graúdo	19
3.1.4 - Mistura	20
3.2 - Tecnologia para concretos	22
3.2.1 - Sílica ativa.....	23
3.2.2 - Modificador de viscosidade	24
3.2.3 - Superplastificante.....	25
3.3 - Reologia do concreto.....	26
3.3.1 - Concreto no estado fresco e suas propriedades.....	28
3.4 - Controle de qualidade.....	28
3.4.1 - Ensaio resistência à compressão axial	29
3.4.2 - Ensaio de espalhamento.....	31
4 - Hipótese proposta.....	35
4.1 - Velocidade média de espalhamento.....	35
4.2 - Velocidade média de vazão.....	37
5 - MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.1 - Caracterização dos materiais	39
5.1.1 - Cimento Portland	39
5.1.2 - Sílica ativa.....	39
5.1.3 - Água.....	40
5.1.4 - Areia (agregado miúdo).....	41
5.1.5 - Brita (agregado graúdo)	42
5.1.6 - Aditivo Modificador de Viscosidade.....	43
5.1.7 - Aditivo Superplastificante	43
5.2 - Produção dos concretos	44

5.3 - Determinação dos traços de concreto	45
5.3.1 - Composição dos traços.....	46
5.4 - Métodos.....	46
5.4.1 - Ensaio de espalhamento modificado	46
5.4.2 - Ensaio de vazão.....	48
5.4.3 - Construção do equipamento de medição de vazão	48
5.4.4 - Execução do ensaio de vazão	53
5.4.5 - Moldagem dos corpos de prova	55
5.4.6 - Apresentação dos dados	56
6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
6.1 - Cálculo das velocidades de espalhamento e de vazão	64
6.2 - Comparação entre velocidade de vazão e velocidade de espalhamento	66
7 - CONCLUSÕES.....	75
8 - REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A – DENSIDADE DOS TRAÇOS DE CONCRETO.....	84
APÊNDICE B – RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICAS À COMPRESSÃO DOS TRAÇOS DE CONCRETO	85
APÊNDICE C – REAPROVEITAMENTO DE MATERIAIS.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Representação do interior da betoneira.....	20
Figura 3.2	Traço de concreto com e sem aditivo modificador de viscosidade.	25
Figura 3.3	Ação do aditivo superplastificante.....	26
Figura 3.4	Comportamento de um fluido Binghamiano e um Newtoniano.	27
Figura 3.5	Ensaio de resistência à compressão axial conforme NBR 5739.....	30
Figura 3.6	Cone de Abrams.	32
Figura 3.7	Ensaio de espalhamento.	33
Figura 4.1	Medição da velocidade média no ensaio de espalhamento.....	36
Figura 4.2	Medição da velocidade média no ensaio de vazão.	38
Figura 5.1	Curva granulométrica dos agregados miúdos empregados.....	41
Figura 5.2	Curva granulométrica do agregado graúdo empregado.	42
Figura 5.3	Ensaio de espalhamento modificado.	47
Figura 5.4	Projeto do equipamento para ensaio.	49
Figura 5.5	Tubo para ensaio de vazão.	50
Figura 5.6	Vista Superior do equipamento sem o tubo de PVC para ensaio.	51
Figura 5.7	Vista superior do equipamento com o tubo acoplado.	51
Figura 5.8	Modelo de tubo para ensaio de vazão.....	52
Figura 5.9	Perspectiva do equipamento acoplado à estrutura de suporte.	53
Figura 5.10	Esquema de execução do ensaio de vazão.	54
Figura 6.1	Espalhamento traço-base I.	60
Figura 6.2	Espalhamento traço-base II.	61
Figura 6.3	Espalhamento traço-base III.	62
Figura 6.4	Espalhamento traço-base IV.....	63
Figura 6.5	Velocidade de espalhamento V_{500} SF1 x velocidade de vazão.	67
Figura 6.6	Velocidade de espalhamento V_{500} SF2 x velocidade de vazão.	67
Figura 6.7	Velocidade de espalhamento V_{500} x velocidade de vazão.	68
Figura 6.8	Velocidade de espalhamento V_{total} SF1 x velocidade de vazão.....	68
Figura 6.9	Velocidade de espalhamento V_{total} SF2 x velocidade de vazão.....	69
Figura 6.10	Velocidade de espalhamento V_{total} x velocidade de vazão.	69
Figura C1	Placas de piso não estruturais moldadas com sobras de concreto.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Idade para ensaio dos corpos de prova.	30
Tabela 3.2 Fator de correção altura/diâmetro.	31
Tabela 5.1 Propriedades físicas do cimento Portland e sílica ativa empregados.....	40
Tabela 5.2 Composição química cimento Portland e da sílica ativa empregados.....	40
Tabela 5.3 Características físicas dos agregados miúdos empregados.	41
Tabela 5.4 Características físicas do agregado graúdo empregado.	42
Tabela 5.5 Dados técnicos do aditivo Centrament Stabi 520.....	43
Tabela 5.6 Dados técnicos do aditivo MC-PowerFlow 4001.	43
Tabela 6.1 Proporção e quantidade de materiais Traço-base I.....	57
Tabela 6.2 Proporção e quantidade de materiais Traço-base II.....	57
Tabela 6.3 Proporção e quantidade de materiais Traço-base III.....	58
Tabela 6.4 Proporção e quantidade de materiais Traço-base IV.	58
Tabela 6.5 Densidade dos traços.....	58
Tabela 6.6 Espalhamentos dos traços ensaiados.....	59
Tabela 6.7 Tempo e velocidade média dos traços no ensaio de espalhamento.	65
Tabela 6.8 Tempo e velocidade de vazão no ensaio proposto.	65
Tabela 6.9 Vazões estimadas a partir dos cenários 1 e 2.....	70
Tabela 6.10 Vazões estimadas a partir dos cenários 3 e 4.....	71
Tabela 6.11 Comparação entre volume de concreto estimado no cenário 1 e ensaio.....	72
Tabela 6.12 Comparação entre volume de concreto estimado no cenário 3 e ensaio.....	73
Tabela A1 Densidade do concreto fresco nos corpos de prova (g/cm ³).....	84
Tabela B1 Dados Traço I	85
Tabela B2 Dados Traço II	86
Tabela B3 Dados Traço III	87
Tabela B4 Dados Traço IV	88

1 - INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, é muito importante conhecer os materiais que serão utilizados para executar uma obra, uma vez que as suas propriedades influenciarão a estabilidade estrutural, além de interferir no conforto térmico e acústico, durabilidade e outras características de desempenho da edificação (ABNT, 2021).

No Brasil e em outros países o concreto é muito utilizado, sendo considerado o material de construção civil mais consumido no mundo (ABCP, 2013). Seu emprego se adapta a várias situações de trabalho, possuindo a característica de ser moldado em qualquer forma enquanto fresco, propriedade crucial para execução de obras com arquitetura complexa.

Devido ao uso em larga escala, faz-se necessário a utilização de métodos para o controle de qualidade do material em muitas de suas propriedades como resistência à compressão, padronizado pela NBR 5739 (ABNT, 2018a), por exemplo, que oferece um melhor entendimento para a previsão de como será o desempenho no estado endurecido.

Existem três formas básicas para se produzir concretos: manualmente (com o uso de enxada ou colher de pedreiro), mecanicamente (com o uso de misturadores mecânicos, como betoneiras) e o dosado em central (ou usinado, que é produzido em centrais e entregue na obra no estado fresco para sua aplicação). Segundo Mascolo; Masuero & Dal Molin (2013), a maior parte do concreto utilizado nos grandes centros urbanos é produzido em centrais dosadoras.

Para o controle de quantidade do concreto usinado, buscam-se métodos para determinar o volume entregue pelos caminhões betoneira de maneira mais precisa, já que em muitos casos, especialmente em obras que não utilizam fôrmas para moldagem das peças, é difícil conferir o volume exato que será utilizado.

Dessa forma, podem surgir conflitos entre o cliente e a empresa fornecedora do concreto para descobrir se o erro está na quantidade solicitada ou na recebida.

Tratando-se de um material composto por “partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido viscoso (pasta de cimento)” (CASTRO; LIBORIO & PANDOLFELLI, 2011) abrasivo e de composição variável de acordo com as

necessidades de projeto, é muito difícil encontrar um dispositivo medidor de vazão capaz de manter a precisão suportando a adversidade do meio e ainda ser economicamente viável.

Nesse sentido, verifica-se a possibilidade de se correlacionar parâmetros indiretos que envolvam a reologia do concreto (como a velocidade de escoamento, por exemplo) obtidos através de ensaios de controle de qualidade realizados no canteiro de obra e a vazão do concreto para se obter um controle do volume de material que será entregue.

7 - CONCLUSÕES

Diante das análises realizadas neste trabalho, conclui-se que em alguns dos casos a comparação entre as velocidades médias de espalhamento e de vazão durante esse ensaio podem ser um indicativo da vazão real.

Considerando todos os concretos autoadensáveis ensaiados em um mesmo espaço amostral, a relação entre a vazão de ensaio e a vazão estimada por meio do conceito mostrado na hipótese deste trabalho e definida nos cenários 2 e 4 (baseados na velocidade até a marca de 500 mm e no diâmetro total, respectivamente, e sem considerar a classificação SF-1 e SF-2 da NBR 15823-1), apresentaram um desvio padrão 23% e 25%, respectivamente. Tratando-se de volume, isso quer dizer que cada metro cúbico de concreto entregue pode ser qualquer volume entre 0,770 e 1,230 m³ ou 0,750 e 1,250 m³. Nesses casos, a incerteza está elevada e talvez não seja ideal para uma padronização.

Ao separar a gama de traços ensaiada nesse trabalho conforme a classificação SF1 e SF2 da NBR 15823-1, nos cenários 1 e 3, os desvios padrões entre a vazão de ensaio e a vazão estimada foram de 15% e 17%, respectivamente. Nesses casos, cada metro cúbico de concreto entregue pode ser qualquer volume entre 0,850 e 1,150 m³ ou 0,83 e 1,17 m³, o que representam melhores padrões em relação ao apresentado nos cenários 2 e 4.

Utilizar a classificação dos concretos conforme a NBR 15823-1 mostrou sua importância ao baixar o desvio padrão em 8% entre os cenários 1 e 2 e entre os cenários 3 e 4.

O que poderá definir o melhor cenário entre o 1 e 3 será a aplicação em escalas maiores e semelhantes às encontradas no mercado. Seria necessário desenvolver um ensaio de vazão em um equipamento semelhante ao utilizado neste trabalho, porém, com um volume de concreto muito maior. Seria interessante desenvolver um método que mantenha uma altura de coluna de concreto fixa, evitando assim variações na vazão referente à variação de energia do sistema. Com grandes volumes de concreto e, ao garantir que as propriedades durante todo o ensaio de vazão sejam mantidas, pode ser que a margem de erro diminua e um cenário mais preciso se desenvolva.

Já que obter parâmetros reológicos do concreto sem o uso de equipamentos sofisticados é um processo complexo em laboratórios e quase impossível no canteiro de obras, utilizar a “velocidade de espalhamento”, que é obtida por meio de um ensaio simples e corriqueiro, pode ser a chave para mensurar a vazão e, conseqüentemente, determinar o volume de concreto entregue. Ainda que não seja possível definir qual o melhor cenário para a medição de vazão, visto que este trabalho apresenta um estudo inicial realizado em escala de laboratório e os traços utilizados representam uma gama muito pequena em relação ao que se encontra no mercado atual da construção civil, conseguir estimar a vazão de concreto em 2 cenários com um desvio padrão de 15% e 17% em relação à vazão de ensaio do traço é um cenário otimista.

Contudo, o estudo de um método para medir o volume de concreto que sai do caminhão betoneira na obra é necessário, pois assim o controle dos custos e do cronograma da obra podem ser melhorados a fim de evitar surpresas indesejáveis. Principalmente em épocas atuais em que a busca por racionalização de custos está cada vez maior.

8 - REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** São Paulo, 28 de Agosto de 2013. Disponível em: <<https://abcp.org.br/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:14.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Vendas de cimento crescem 6,6% em 2021.** São Paulo, 12 de Janeiro de 2022. Disponível em: <<https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-66-em-2021/>>. Acesso em: 15/12/2022 às 20:31.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956-1: Sílica ativa para uso com cimento portland em concreto, argamassa e pasta - parte 1: requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1: Concreto autoadensável - parte 1: classificação, controle e recebimento no estado fresco.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2: Concreto autoadensável - parte 2: determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - método do cone de Abrams.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-3: Concreto autoadensável - parte 3: determinação da habilidade passante - método do anel j.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó** - determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017d.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127: Gesso para construção civil** - determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro: ABNT, 2017e.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland** - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento portland - parte 1**: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889: Concreto** - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – desempenho – parte 1**: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto** - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b.

AMN - ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 248: Agregados**- determinação da composição granulométrica. São Paulo: AMN, 2001.

AMN - ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 45: Agregados** - determinação de massa unitária e do volume de vazios. São Paulo: AMN, 2006.

AMN - ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 52: Agregado miúdo** - determinação de massa específica e massa específica aparente. São Paulo: AMN, 2009a.

AMN - ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 53: Agregado graúdo** - determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. São Paulo: AMN, 2009b.

ANDOLFATO, R. P. **Concreto tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: “Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural” NEPAE, 2002. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/controle-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:39.

ANTUNES, T. B. M. **Influência da temperatura nas propriedades físico-químicas de cimentos à base de silicato de cálcio**, 2021. 124f. Dissertação (Mestrado em Clínica odontológica) – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Piracicaba, 2021.

BARBOSA, M. P., et. al. *Determinação de parâmetros reológicos de argamassas e concreto através de técnicas alternativas*. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, São Paulo, v.4, n.3, p. 440-480, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/riem/a/6z7dQhy4DRXDJFXyYxrRQgQ/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 20/12/2022 às 22:39.

BATTAGIN, A. F.; SILVEIRA, A. L. Z. P. *Muito além do controle tecnológico convencional do concreto*. **Concreto e Construções**, São Paulo, ano XLV, n. 86, p. 66, Abr-Jun. 2017. Disponível em: <http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista86.pdf>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:40.

CARMO, J. B. M. do.; PORTELLA, K. F. *Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto*. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 331, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/GXJkkmZfvGB3K9VCvm9mdNd/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:40.

DE ANTONI, C. *Cimento de reduzido impacto ambiental em casa*. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2021. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/ecocimentos/bienc-carolina/>>. Acesso em: 13/02/2023 às 19:52.

CASTRO, A. L.; LIBORIO J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. *Reologia de concretos de alto desempenho aplicados na construção civil – revisão*. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 57, n. 341, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/DwRsDL7PvNrDL9GHsSLpNJP/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:41.

CASTRO, A. L. de; PANDOLFELLI, V. C. *Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil*. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 333, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/6jsRNJDKJHCNCczb3fMfLFv/?format=pdf&lang=pt>>.

FERRARIS, C. F. *Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report*. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, Gaithersburg, v.104, n.5, p. 461-478, 1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/2378156_Measurement_of_the_Rheological_Properties_of_High_Performance_Concrete_State_of_the_Art_Report>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:41.

GARCIA, M. L. G. **O novo manual de aditivos para concreto**. Palestrante: Maurício Luiz Grochoski Garcia. São Paulo: Engenharia civil Mackenzie, 2021. 1 vídeo (72 min.). Transmido ao vivo em 15 de Outubro de 2021 pelo canal Engenharia civil Mackenzie. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2SRq6K0d9aY&ab_channel=EngenhariaCivilMackenzie>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:41.

GUINNESS WORLD RECORDS – **Longest Bridge**, 2011.

Disponível em:

<<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/longest-bridge>>. Acesso em: 13/02/2023 às 19:37.

GUINNESS WORLD RECORDS – **Tallest Building**, 2010.

Disponível em:

<<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/tallest-building>>. Acesso em: 13/02/2023 às 19:38.

HELENE, P.; ANDRADE, T. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. IBRACON, São Paulo, cap.29, 2010.

ITAIPÚ BINACIONAL – **Curiosidades**.

Disponível em: < <https://www.turismoitaipu.com.br/pt/curiosidades>>.

Acesso em: 13/02/2023 às 19:35.

KHATIB, J. M. *Performance of self-compacting concrete containing fly ash*. Revista **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 9, 2008. Disponível em:

<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061807001948?token=C68923625E4AFE6A076F7E6D427F5F65356A902660A639E9543E2B2FA5B88960024E5823EA7D45E21DB76151666EF281&originRegion=us-east-1&originCreation=20221117194843>>. Acesso em: 13/02/2023 às 20:51.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. CIFE Technical Report. No. 72. Stanford University. Stanford. CA., 1992.

Li, V. C., *Can Concrete Be Bendable? The notoriously brittle building material may yet stretch instead of breaking*, **American Scientist**, v.100(6), p.484-493, 2012.

Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/298477728_Can_Concrete_Be_Bendable_The_notoriously_brittle_building_material_may_yet_stretch_instead_of_breaking>.

Acesso em: 13/02/2023 às 19:49.

LI, S.; FANG, Y.; WU, X. *A systematic review of lean construction in Mainland China*. **Journal of Cleaner Production**, Tianjin - China, v.257, p. 01-16, 2020. Disponível em:

<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652620306284?token=776F74BDB71EA1A7C58B7142FDE1540DA4E0A0BA2860FDE8E77528D79F96337616B48D72F14D98A2F3CC2DC525E1EBA2&originRegion=us-east-1&originCreation=20230213180314>>

Acesso em: 13/02/2023 às 15:03.

MASCOLO, R.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. *Concreto usinado: análise da variação de resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira*. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, São Paulo, v.6, n.2, p. 194-210, 2013. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/riem/a/LGwCXmK96cvPmbKcWBGgY7R/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em: 20/12/2022 às 22:44.

MC BAUCHEMIE. *Ficha técnica Aditivo modificador de viscosidade Centrament Stabi 520*, São Paulo, 2019a. Disponível em:

<https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/pt-BR/fichas_tecnicas/Centrament%20Stabi%20520.pdf>.

Acesso em: 20/12/2022 às 22:44.

MC BAUCHEMIE. *Ficha técnica Aditivo superplastificante MC-Powerflow 4001*, São Paulo, 2019b. Disponível em:

<https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/pt-BR/fichas_tecnicas/MC-PowerFlow%204001.pdf>.

Acesso em: 20/12/2022 às 22:44.

MENDES, M. BAUER, E; SILVA, F. *Avaliação dos parâmetros de autoadensibilidade e de reologia do concreto autoadensável*. **Revista Matéria**, Rio De Janeiro, v. 22, n. 04, 2017. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rmat/a/mj5zYlMrfyWz9N4rd9LvzXd/?format=pdf&lang=pt>>.

Acesso em: 20/12/2022 às 22:45.

MOHSEN, O.; NAUMETS, S.; HAMZEH, F. *Lean thinking to improve curriculum delivery in civil engineering using Monte Carlo simulation*. Proceedings of the 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC30), 1–12, Edmonton – Canadá, 2022.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete technology**. 2. ed. Harlow: Pearson, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PEDROSO, F. L. *Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem*. **Concreto e Construções**, São Paulo, ano XXXVII, n. 53, p. 14, Jan/Fev/Mar. 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:46.

PRINCE, W.; EDWARDS-LAJNEF, M.; AİTCIN, P. -C. *Interaction between ettringite and a polynaphtalene sulfonate superplasticizer in a cementitious paste*. **Cement and Concrete Research**, v.32, n.1, p. 79-85, 2002. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0008884601006329?token=D8198C5574EE9F3DB02BE2C6DB6E4A88EB9E5195DEB21CC311B0935E444F62FD7C9198299D9E68A9C49203E343551073&originRegion=us-east-1&originCreation=20230213182535>> Acesso em: 13/02/2023 às 15:24.

RAISDORFER, J. W. **Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento portland**: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos, 2015. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

REIS, J. F. A. **Determinação de parâmetros reológicos de concretos através do ensaio de abatimento de tronco de cone modificado: estudo de caso**, 2008. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2008.

REVISTA UHE BELO MONTE – ENERGIA DO XINGU. **Xingu+** - Conheça os números da usina hidrelétrica Belo Monte. P.36-37. Ed. 6. Maio, 2021. Disponível em: <<https://www.calameo.com/read/00563182738f3f91bfcc1>>. Acesso em: 13/02/2023 às 19:30.

RIBEIRO, A. A. *et. al. Lean construction na indústria da construção civil brasileira: uma revisão sistemática da literatura*. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.12, n.4, p. 279-290, 2020. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/16970/209209213908>> Acesso em: 13/02/2023 às 14:53.

ROMANO, R. C. O; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. **Propriedades do concreto no estado fresco**. São Paulo: Concreto: ciência e tecnologia, 2011.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. *Relatório anual 2008*. **SNIC**, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2008.pdf>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:46.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. *Relatório anual 2012*. **SNIC**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2012.pdf>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:46.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. *Perfil da distribuição de cimento por regiões e estados*. **SNIC**, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1660573953.pdf>>. Acesso em: 20/12/2022 às 22:47.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. **IBRACON**, São Paulo, cap.36, 2011.

TUTIKIAN, B. F.; MOLIN, D. C. D. **Concreto auto-adensável**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2008.