

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UNIEVANGÉLICA
CAMPUS CERES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS XAVIER DA SILVA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTO-
ADENSÁVEL (CAA) NA REGIÃO DO VALE DO SÃO PATRÍCIO**

PUBLICAÇÃO Nº:

CERES / GO

2019

LUCAS XAVIER DA SILVA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTO-
ADENSÁVEL (CAA) NA REGIÃO DO VALE DO SÃO PATRÍCIO**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR

CERES / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

DA SILVA, LUCAS XAVIER

Estudo da viabilidade de aplicação do concreto auto-adensável (CAA) na região do Vale de São Patrício. [Goiás] 2019.

19 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC – UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto

2. Auto-adensável

3. Granulometria

4. Viabilidade

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DA SILVA, L. X. Estudo da viabilidade de aplicação do concreto auto-adensável (CAA) na região do Vale de São Patrício. TCC, Publicação ENC. PF-001A/19, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 19p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Xavier da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da viabilidade de aplicação do concreto auto-adensável (CAA) na região do Vale de São Patrício

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Lucas Xavier da Silva

Endereço: Rua 01 Qd A Lt 04 Antônio Gomides,
76340-000 Carmo do Rio Verde/GO - Brasil

E-mail: lucasxavier1406@gmail.com

LUCAS XAVIER DA SILVA

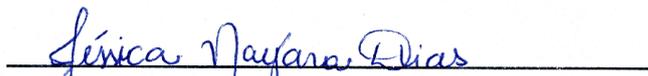
ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA) NA REGIÃO DO VALE DO SÃO PATRÍCIO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.

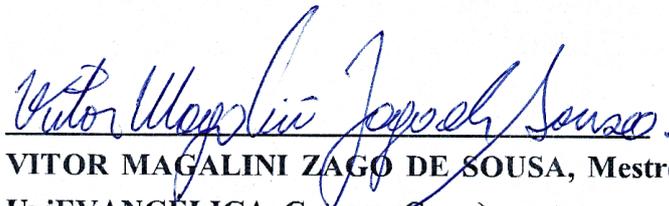
APROVADO POR:



**WILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**



**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestre (Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA, Mestre (Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, 13 de DEZEMBRO de 2019.

ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA) NA REGIÃO DO VALE DO SÃO PATRÍCIO

Lucas Xavier da Silva¹
Wilson Dalla Libera Junior²

RESUMO

O concreto auto-adensável (CAA) consiste em um concreto com alta fluidez, com capacidade de preencher fôrmas onde é aplicado, compactando-se pela ação única de seu peso próprio e sem necessitar de algum tipo de vibração interna ou externa. Seu custo relativamente maior que o concreto convencional alinhado à ausência de conhecimento sobre dosagem são alguns dos principais fatores que dificultam sua aplicação. Nesta perspectiva, o presente trabalho visa analisar a viabilidade de utilização de materiais locais para a produção do CAA na região do Vale do São Patrício, caracterizando os agregados utilizados, estimando seu custo total e comparando o CAA com um traço de concreto convencional. Inicialmente, os materiais utilizados em cada traço foram destacados e separados em planilhas semiestruturadas. Buscou-se destacar a utilização de diferentes agregados graúdos, selecionados conforme a distribuição e tipos disponíveis nas pedreiras próximas a região de Ceres – GO. A caracterização da granulometria e o cálculo do módulo de finura foram realizados conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2013). Afim de se verificar o custo relativo de aplicação de cada concreto, foi realizado no trabalho um levantamento dos materiais empregados. De acordo com as curvas granulométricas avaliadas foi possível observar que a brita 0 disponível no laboratório de materiais da UniEVANGÉLICA – Campus Ceres apresentou o maior percentual de finos. Comparando os três agregados graúdos avaliados, a brita 1 da pedreira Jaraguá apresentou o menor módulo de finura entre as amostras. Após avaliar o custo, pode-se concluir que o CAA é 7,5% mais caro que o concreto convencional. O aumento do custo está relacionado ao acréscimo de cimento no traço do CAA que representa 6,1% do aumento no valor final. Essa diferença pode ser facilmente revertida durante o emprego do concreto, por não necessitar de mão-de-obra especializada e menor número de colaboradores para aplicação do concreto.

Palavras-chave: Concreto. Auto-adensável. Granulometria. Viabilidade.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: lucasxavier1406@gmail.com

² Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: vilson-dalla@hotmail.com

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	METODOLOGIA	7
2.1	Materiais	7
2.2	Caracterização granulométrica dos agregados graúdos	7
2.3	Caracterização granulométrica dos agregados miúdos	8
2.4	Custo dos materiais constituintes dos concretos	9
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1	Análise granulométrica dos agregados graúdos	9
3.2	Análise da granulometria dos agregados miúdos	13
3.3	Avaliação do custo unitário dos concretos	15
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
	REFERÊNCIAS	18

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material da construção civil mais utilizado no mundo (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Com toda dinâmica e inovações nos projetos de engenharia, o mercado e as técnicas construtivas exigem concretos que apresentem características especiais. Atualmente não se pode considerar apenas os estudos de concretos convencionais, desta forma, diversos estudos aprofundados a respeito das variações desse componente têm sido realizados. A partir desses estudos e do avanço tecnológico na indústria da construção, novos tipos deste componente têm sido desenvolvidos, como é o caso dos concretos auto-adensáveis, de alto desempenho, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos, sustentáveis, entre outros.

Proposto inicialmente pelo professor Hajime Okamura, da *Kochi University of Technology*, em 1986 no Japão. O concreto auto-adensável foi proposto devido a problemas de durabilidade das estruturas em concreto no país que vinham se agravando constantemente, devido à diminuição na quantidade de trabalhadores da construção civil qualificados para a execução de elementos estruturais. Para solucionar esse problema, a única opção encontrada foi a busca de um concreto especial, o concreto auto-adensável (CAA) que era capaz de apresentar boa durabilidade, independentemente das atividades de adensamento exercidas pelos trabalhadores no momento da concretagem (OKAMURA; OUCHI, 2003).

Relatos de Okamura et. al. (2000) indicam que o primeiro protótipo de CAA foi desenvolvido no ano de 1988 utilizando materiais usualmente aplicados em concretos convencionais, tendo apresentado bons resultados de desempenho. Após isso, os estudos acerca do novo tipo de concreto cresceram em todo o mundo, desde instituições de ensino e pesquisa até grandes companhias construtoras, de modo que o CAA vem sendo cada vez mais utilizado.

No Japão, teve-se a primeira aplicação do CAA em obra, em junho de 1990; seguida pela aplicação do concreto nas torres da ponte Shin-kiba Ohashi. Em seguida, em 1997, o CAA foi utilizado em seu grande teste, a construção da famosa ponte Akashi-Kaikyo, no Japão. A ponte é considerada até hoje um verdadeiro colosso da engenharia civil, com quase 4000 metros de comprimentos e 1990 metros de vão central, ligando as ilhas de Awaji e Kobe, bastante conhecidas pelos abalos sísmicos que ocorrem constantemente na região. Ao passar nos diversos testes aos quais foi submetido, o concreto auto-adensável foi considerado apto para ser utilizado em edificações que exijam certo grau de eficiência e controle durante o processo (TECNOSIL, 2019).

Marangon (2006) define o concreto auto-adensável como um tipo de concreto recente que apresenta alta fluidez e coesividade, sendo capaz de preencher completamente as formas por meio de seu peso próprio, atingindo compactação total, mesmo na presença de densa armadura. Este material de construção é denso, homogêneo e tem as mesmas propriedades de engenharia do concreto convencional. Apresenta como principais vantagens, redução no tempo de construção, mão-de-obra, necessidade de equipamentos no canteiro de obras, exposição dos trabalhadores a ruídos e vibrações, além de possibilitar a obtenção de superfícies com melhor acabamento.

O concreto auto-adensável consiste em um concreto com alta fluidez, e não necessita de nenhum tipo de vibração interna ou externa. O CAA deve, ainda, ser capaz de suportar os grãos do agregado graúdo, mantendo-os homoganeamente distribuídos na parte interna da mistura,

quando o concreto flui através de obstáculos, como as barras de armaduras, e também quando o concreto se encontra em repouso (KLEIN, 2008).

O crescente interesse a respeito do CAA e o aumento constante dos estudos e aplicações do material no mundo é explicado pelas inúmeras vantagens apresentadas quanto a aplicação deste concreto em obras, como a exclusão da etapa de vibração do concreto, que favorece resultados como economia de energia pela inexistência do vibrador e eliminação do ruído provocado por este equipamento, fazendo o ambiente de trabalho mais sadio e dando condições melhores de segurança ao trabalhador. Com a diminuição nas atividades de espalhamento e exclusão da etapa de vibração torna-se possível estabelecer menores prazos para a execução da obra, devido a concretagem ser rápida, fazendo que tenha diminuição no custo de mão-de-obra. Tecnicamente, é provável a realização da concretagem mesmo em estruturas densamente armadas, com excelente acabamento e maior durabilidade (EFNARC, 2005; GETTU & AGULLÓ, 2004).

Para a fabricação de um CAA de qualidade é essencial a aplicação de materiais característicos compatível, estes devem conter algumas propriedades específicas em certos pontos que deverão ser levadas em conta, já que a qualidade do produto final depende da qualidade dos materiais e sua correta aplicação (CALADO, 2015).

Assim como no concreto convencional (CCV), os principais materiais constituintes do CAA são cimento, agregados graúdos, agregados miúdos, água e aditivos, porém a grande diferença entre os dois está no traço, como o CAA e um concreto de alta fluidez ele necessita de uma maior quantidade de agregados miúdos e com módulo de finura menor, assim o CAA no estado fresco é muito mais sensível às mudanças de qualidade e uniformidade dos constituintes que o compõem NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

Quando comparado com concretos convencionais, devido a maior quantidade de finos na composição, aumenta-se a superfície específica e conseqüentemente a capacidade de absorção de água da mistura. Com isso, tem-se uma redução do volume de agregado graúdo, sendo a argamassa fator determinante das propriedades do CAA no estado fresco (NUNES, 2001). Seu custo relativamente mais alto que o concreto convencional alinhado à ausência de conhecimento sobre dosagem para o material atender as especificações de projeto são alguns dos principais fatores que dificultam a aplicação do CAA na região do vale do São Patrício. Por ser um concreto de alta fluidez e que demanda uma grande quantidade de finos, os processos de fabricação e materiais constituintes tais como os aditivos devem ser rigorosamente controlados. Deste modo, profissionais da construção comumente enfrentam dificuldades para trabalhar com as características do CAA no estado fresco durante o lançamento e cura adequada.

Para este estudo, destacou-se a utilização de diferentes agregados graúdos, selecionados conforme a distribuição e tipos disponíveis nas pedreiras próximas a região de Ceres, onde foram coletados dois tipos oriundos de diferentes pedreiras da região. Nesta perspectiva, o presente trabalho visa analisar a viabilidade de utilização de materiais locais para a produção do CAA na região do Vale do São Patrício, caracterizando os agregados utilizados, estimando seu custo total e comparando o CAA com um traço de concreto convencional.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

Neste estudo foram utilizados como materiais constituintes dos concretos: cimento CII-F40, agregados graúdos, miúdos, aditivos polifuncional (Maximent NT 10) e Superplastificante (Sika ViscoCrete - 300). O quantitativo de materiais utilizados nos traços de concreto do tipo CAA e convencional do presente estudo estão apresentados na tabela 1 abaixo. Os traços dos concretos utilizados foram fornecidos por uma empresa anônima de referência.

Tabela 1 – Traço do concreto CAA e concreto convencional.

CAA - fck 25 MPa - Flow > 600 mm			Convencional - fck 25 MPa - Abat. 90 ± 20 mm		
Materiais	Quant.	Unid.	Materiais	Quant.	Unid.
Cimento	360	kg/m ³	Cimento	300	kg/m ³
Água	180	l/m ³	Água	155	l/m ³
Areia artificial	446	kg/m ³	Areia artificial	492	kg/m ³
Areia natural	669	kg/m ³	Areia natural	492	kg/m ³
Brita N° 0	387	kg/m ³	Brita N° 0	392	kg/m ³
Brita N° 1	257	kg/m ³	Brita N° 1	477	kg/m ³
Aditivo Polifuncional	2,65	l/m ³	Aditivo Polifuncional	2,57	l/m ³
Aditivo Superplastificante	3,00	l/m ³	Aditivo Superplastificante	0,00	l/m ³
Relação A/C	0,50	-	Relação A/C	0,52	-

Fonte: Próprio autor (2019)

O cimento utilizado neste trabalho foi o Cimento Portland CII-F40, sendo este comercializado em sacos de papel kraft de 50kg. Foram coletadas três amostras de britas, oriunda de diferentes jazidas. As amostras consistiam em dois tipos de britas disponíveis em pedreiras que atendiam comercialmente a região de Ceres-GO. Os agregados graúdos analisados são de origem basáltica, sendo popularmente conhecidas como brita 0 e brita 1. Os agregados utilizados foram armazenados em reservatórios plásticos e protegidos da umidade. As amostras de areia utilizadas foram disponibilizadas pelo Laboratório de Materiais de Construção da UniEVANGÉLICA, Campus Ceres. Foram utilizados dois tipos de areia, natural e lavada, entretanto para aplicação no traço, foi utilizado apenas uma qualidade de areia, conhecida como areia natural. Os aditivos avaliados para o traço de CAA são do tipo polifuncional (Maximent NT 10) e Superplastificante (Sika ViscoCrete - 300), esses aditivos são aplicados conforme a norma NBR 11768 (ABNT, 2010).

2.2 Caracterização granulométrica dos agregados graúdos

A caracterização da granulometria e o cálculo do modulo de finura foram realizados conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que prescreve o método para a determinação granulométrica de agregados graúdos e miúdos. Foram utilizados no ensaio as peneiras em série 19mm, 9.5mm, 4.75mm, 2.36mm com auxílio da peneira automatizada exibida na Figura 1.

Figura 1 – Peneira automatizada



Fonte: Próprio autor (2019)

Fez-se o mesmo ensaio de determinação da composição granulométrica para os seis tipos de britas da região, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que consistiu inicialmente da coleta característica de amostras de 2,7 kg de cada agregado graúdo. As peneiras foram colocadas de modo a formar uma série de peneiras com aberturas em ordem crescente, da base para o topo. As amostras, então, foram colocadas na peneira superior ao conjunto e agitada mecanicamente, em seguida foi determinado a massa total retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.

2.3 Caracterização granulométrica dos agregados miúdos

A caracterização da granulometria e o cálculo do módulo de finura também foram realizados de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) que prescreve o método para a determinação granulométrica de agregados graúdos e miúdos. Foram utilizados no ensaio as peneiras da série normal 4.75mm, 2.36, 2mm, 1.18mm, 0.6mm, 0.3mm, 0.15mm e 0.075mm. As peneiras utilizadas para a determinação da granulometria estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Peneiras para execução do ensaio granulométrico de agregados miúdos



Fonte: Próprio autor (2019)

O método consistiu-se primeiramente da coleta representativa de uma amostra de 0,5 kg de agregado miúdo. As amostras de areia foram secas em estufa (105 – 110) °C por vinte e quatro horas (24 horas), após o resfriamento ambiente foi determinado as massas secas das

amostras. Como não foi possível a agitação mecânica, a amostra foi classificada manualmente em uma peneira para depois passar à seguinte. Cada peneira foi agitada em círculos por 15 vezes. Por fim, foi realizado os cálculos para determinar a massa total de cada amostra de areia.

2.4 Custo dos materiais constituintes dos concretos

Afim de se verificar o custo relativo de cada concreto, realizou-se no trabalho um levantamento dos materiais empregados. Após a execução dos levantamentos dos matérias da Tabela 1, o custo unitário de cada material foi coletado através de orçamentos realizados no mês de novembro (2019) em lojas de materiais de Construção na cidade de Ceres e região. Para não haver diferenças nos preços, foi adotado um valor médio para a região. Após o levantamento de custo unitário dos materiais, o valor médio do metro cúbico de cada concreto foi calculado. A partir do valor total, foi possível avaliar a relação custo benefício de cada concreto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise granulométrica dos agregados graúdos

A análise granulométrica dos agregados graúdos das amostras extraídas para análise foi realizada com o propósito de avaliar as características granulométricas, como o módulo de finura, para selecionar a brita adequada para a realização do concreto auto adensável na região de Ceres-GO. Após a execução do ensaio com a vibração das amostras, foram realizadas as pesagens das parcelas de agregados graúdos retidos em cada peneira. Os dados da composição granulométrica da brita 0 comercializada na região, são apresentados na Tabela 2.

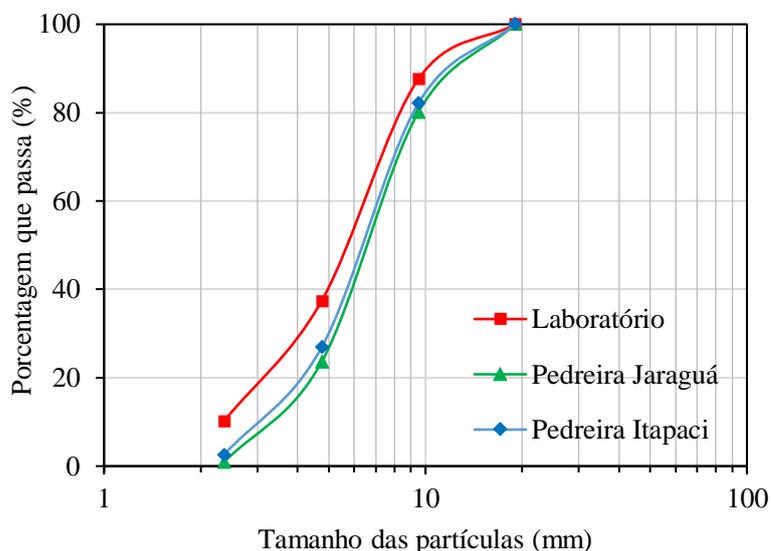
Tabela 2 – Dados da análise granulométrica das britas 0 das pedreiras avaliadas.

Brita 0	Abertura de malha (mm)	Massa retida (g)	% Retida	Massa acum. (g)	% Acumulada	% Passante acumulada
LABORATÓRIO (UniEVANGÉLI- CA – Ceres)	19	0	0,00	0	0,00	100,00
	9,5	0,3355	12,43	0,3355	12,43	87,57
	4,75	1,3558	50,21	1,6913	62,64	37,36
	2,36	0,7341	27,19	2,4254	89,83	10,17
	Fundo	0,2746	10,17	2,7	100,00	0,00
	Total	2,7	100,00	–	–	–
PEDREIRA JARAGUÁ	19	0	0,00	0	0,00	100,00
	9,5	0,5378	19,92	0,5378	19,92	80,08
	4,75	1,5262	56,53	2,064	76,44	23,56
	2,36	0,6126	22,69	2,6766	99,13	0,87
	Fundo	0,0234	0,87	2,7	100,00	0,00
	Total	2,7	100,00	–	–	–
PEDREIRA ITAPACI	19	0	0,00	0	0,00	100,00
	9,5	0,4831	17,89	0,4831	17,89	82,11
	4,75	1,4918	55,25	1,9749	73,14	26,86
	2,36	0,6562	24,30	2,6311	97,45	2,55
	Fundo	0,0689	2,55	2,7	100,00	0,00
	Total	2,7	100,00	–	–	–

Fonte: Próprio autor (2019)

Na Figura 3 é possível observar as curvas granulométricas das três amostras de agregados graúdos do tipo brita 0 analisadas. Vale ressaltar que toda a curva granulométrica do agregado graúdo encontrou-se dentro de limites inferiores e superiores estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2019).

Figura 3 – Curvas granulométricas das britas 0 das pedreiras avaliadas



Fonte: Próprio autor (2019)

De acordo com as curvas granulométricas avaliadas é possível observar que a brita 0 disponível no Laboratório de Materiais da UniEVANGÉLICA – Campus Ceres apresentou a maior porcentagem com partículas menores. Os agregados graúdos interferem diretamente na resistência do concreto, a qual pode ser afetada pelo módulo de finura do agregado, pois através dele se pode verificar a quantidade de finos no agregado. Um concreto de alta fluidez e com trabalhabilidade alta está diretamente relacionado a composição dos agregados e não somente na relação água cimento. Na composição do CAA a trabalhabilidade ajuda o concreto a penetrar entre as ferragens sem a necessidade de vibração como no concreto convencional, deste modo deve-se levar em consideração que o recomenda para a fabricação do CAA seja que o diâmetro máximo do agregado graúdo brita 0 seja entre 4,8mm a 9,5mm (GOMES, 2002).

O módulo de finura é um fator importante na fabricação do CAA, devendo ser levado em consideração para a fabricação do concreto. A Tabela 3 abaixo apresenta os módulos de finuras calculados para os agregados graúdos do tipo brita 0.

Tabela 3 – Dados dos módulos de finura das britas 0 avaliadas.

Origem dos agregados	Módulo de Finura
Laboratório UniEVANGÉLICA	1,65
Pedreira Jaraguá	1,95
Pedreira Itapaci	1,88

Fonte: Próprio autor (2019)

O módulo de finura é caracterizado como a somatória das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de serie normal divididas por 100 e representa a faixa granulométrica

com apenas um número, assim, quanto maior o módulo de finura maior o diâmetro dos agregados em sua composição. Observando a Tabela 3, todos os agregados do tipo brita 0 avaliados podem ser utilizados na fabricação do CAA devido ao módulo de finura ser menores que 3,3 que está caracterizado como agregados médio NBR 7211 (ABNT, 2019). Portanto, quando se compara os três agregados avaliados, a melhor brita 0 para ser utilizada é a disponível no Laboratório de materiais, visto que, por apresentar o menor módulo de finura, este agregado apresenta britas com diâmetro menor. O agregado da Pedreira Jaraguá apresentou o maior módulo de finura, logo com maior número de agregados graúdos em relação as outras, o agregado de Jaraguá está de acordo com o determinado pela NBR 7211 (ABNT, 2019), entretanto ele apresenta 7,49% a mais de agregados com diâmetros de 9,5mm que o agregado disponível no Laboratório.

A composição granulométrica das amostras de agregados graúdos do tipo brita 1 e comercializada na região de Ceres-GO é apresentada através dos dados da Tabela 4, que mostra as aberturas de malhas usadas na análise, as porcentagens retidas, acumuladas e passante acumulada, a porcentagem acumulada e um fator muito importante na análise, porque através dessas porcentagem e feito o cálculo do módulo de finura da brita 1, também apresenta a massa total do material retido nas peneiras e no fundo. A diferença não pode ultrapassar 0,3% da massa inicial.

Tabela 4 – Dados da análise granulométrica das britas 1 avaliadas.

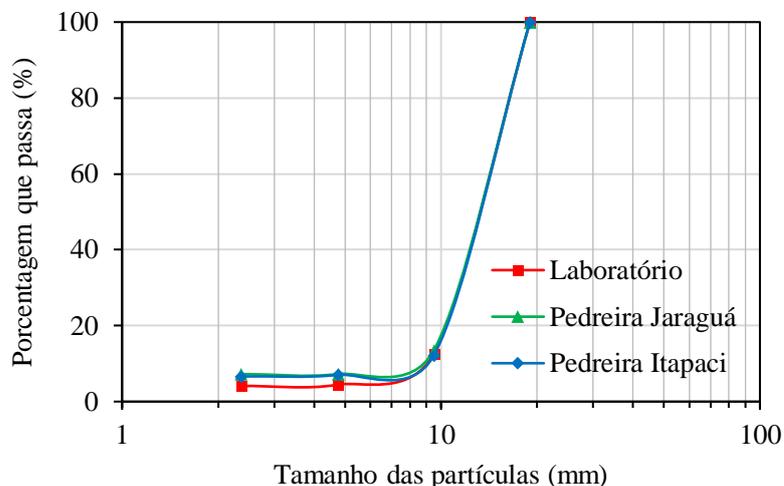
Brita 1	Abertura de malha (mm)	Massa retida (g)	% Retida	Massa acum. (g)	% Acumulada	% Passante acumulada
LABORATÓRIO (UniEVANGÉLI- CA – Ceres)	19	0,0978	3,62	0,0978	0,00	100,00
	9,5	2,3567	87,29	2,4545	87,29	12,71
	4,75	0,2227	8,25	2,6772	95,53	4,47
	2,36	0,0096	0,36	2,6868	95,89	4,11
	Fundo	0,0132	0,49	2,7	100,00	0,00
	Total	2,7	100,00	–	–	–
PEDREIRA JARAGUÁ	19	0,1933	7,16	0,1933	0,00	100,00
	9,5	2,3342	86,45	2,5275	86,45	13,55
	4,75	0,1697	6,29	2,6972	92,74	7,26
	2,36	0	0,00	2,6972	92,74	7,26
	Fundo	0,0028	0,10	2,7	100,00	0,00
	Total	2,7	100,00	–	–	–
PEDREIRA ITAPACI	19	0,1583	5,86	0,1583	0,00	100,00
	9,5	2,3711	87,82	2,5294	87,82	12,18
	4,75	0,1387	5,14	2,6681	92,96	7,04
	2,36	0,0112	0,41	2,6793	93,37	6,63
	Fundo	0,0207	0,77	2,7	100,00	0,00
	Total	2,7	100,00	–	–	–

Fonte: Próprio autor (2019)

A Figura 4 apresenta as curvas granulométricas das três amostras de agregados do tipo brita 1 analisados. De acordo com as curvas apresentadas é possível observar que os agregados com a nomenclatura de brita 1 apresentam maior diâmetro. Apesar de apresentar uma

quantidade pequena retida na peneira de 19mm, a grande diferença está na peneira de 9.5mm, a qual, retém mais de 85% do agregado, que se comparado a brita 0 a mesma peneira retém menos que 15% do agregado.

Figura 4 – Gráfico das curvas granulométricas das Britas 1 avaliadas



Fonte: Próprio autor (2019)

Os módulos de finuras calculados para as britas 1 são apresentados na Tabela 5. De acordo com os dados o agregado que têm maior quantidade de finos é proveniente da Pedreira Jaraguá, contudo, a diferença de granulometria entre as britas 1 é muito pequena, todas estão com um módulo de finura próximos a 2,7 e a diferença de porcentagem acumulada da principal peneira 9,5mm para as britas 1 do Laboratório de Materiais e da Jaraguá é de 0,84%.

Tabela 5 – Dados dos módulos de finura das britas 1 avaliadas.

Origem dos agregados	Módulo de Finura
Laboratório UniEVANGÉLICA	2,79
Pedreira Jaraguá	2,72
Pedreira Itapaci	2,74

Fonte: Próprio autor (2019)

Os agregados graúdos britas 1 de origem basáltica utilizados para análise que apresenta dimensão máxima característica de 19 mm, pois a distribuição do tamanho das partículas do agregado graúdo influencia diretamente na fluidez e a habilidade de passagem do concreto, assim como a demanda de pasta. Partículas de agregados de formato esférico e dimensão característica baixa reduzem o bloqueio e melhoram a fluidez devido à redução do atrito entre as partículas. Assim, foi realizada a caracterização do material para confirmar a granulometria exigida (FERNEDA, 2014).

Comparando os três agregados avaliados, a brita 1 da pedreira Jaraguá apresentou o menor módulo de finura, então este agregado apresenta britas com diâmetro menor. O agregado do Laboratório UniEVANGÉLICA apresentou maior módulo de finura, entretanto ele apresenta 0,84% mais de agregados com diâmetros de 9,5mm que o agregado disponível no Laboratório.

3.2 Análise da granulometria dos agregados miúdos

Os resultados obtidos no ensaio para a determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos avaliados são apresentados nas tabelas 6 e 7. A análise granulométrica foi feita em dois tipos diferentes de areia, sendo uma areia natural e outra areia lavada, ambas disponíveis no Laboratório de Materiais da UniEVANGÉLICA – Campus Ceres, que são compradas em lojas de matérias de construções de Ceres-GO.

Tabela 6 – Dados da análise granulométrica da areia lavada avaliada.

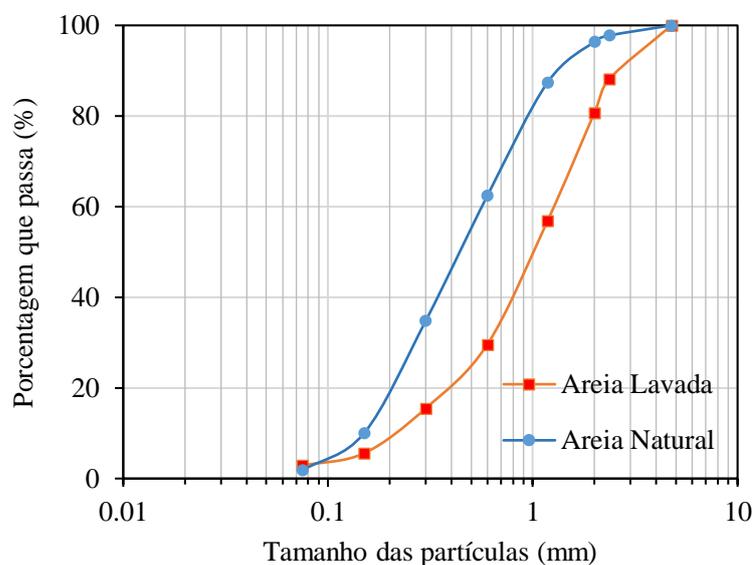
Areia	Abertura de malha (mm)	Massa retida (g)	% Retida	Massa acum. (g)	% Acumulada	% Passante acumulada
AREIA LAVADA	4,75	0,0104	2,11	0	0,00	100,00
	2,36	0,0584	11,87	0,0112	11,87	88,13
	2	0,0363	7,38	0,018	19,25	80,75
	1,18	0,1176	23,90	0,0629	43,15	56,85
	0,6	0,1341	27,26	0,1875	70,41	29,59
	0,3	0,0694	14,11	0,3253	84,51	15,49
	0,15	0,0488	9,92	0,449	94,43	5,57
	0,075	0,0133	2,70	0,4899	97,13	2,87
	Fundo	0,0037	0,75	0,498	100,00	0,00
Total		0,492	100,00	–	–	–
AREIA NATURAL	4,75	0,0009	0,18	0	0,00	100,00
	2,36	0,0112	2,24	0,0112	2,24	97,76
	2	0,0068	1,36	0,018	3,61	96,39
	1,18	0,0449	9,00	0,0629	12,61	87,39
	0,6	0,1246	24,97	0,1875	37,58	62,42
	0,3	0,1378	27,62	0,3253	65,20	34,80
	0,15	0,1237	24,79	0,449	90,00	10,00
	0,075	0,0409	8,20	0,4899	98,20	1,80
	Fundo	0,0081	1,62	0,498	100,00	0,00
Total		0,4989	0,4989	–	–	–

Fonte: Próprio autor (2019)

Como mostrado no traço, o agregado miúdo é o material mais utilizado na confecção dos concretos, e de importante contribuição para as características do concreto como: resistência à compressão, durabilidade, trabalhabilidade, retração entre outras. A qualidade do concreto, antes de qualquer outro fator, dependerá principalmente da qualidade dos materiais envolvidos, portanto é primordial que se conheça suas características através de testes e ensaios laboratoriais (AZEVEDO, 2017). Diferentemente do estabelecido para agregados graúdos, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2019) a curva granulométrica do agregado miúdo pode fornecer uma zona do módulo de finura que pertence tanto a uma zona utilizável quanto a uma zona ótima. O módulo de finura da zona ótima varia de 2.20 a 2.90, da zona utilizável inferior varia de 1.55 a 2.20 e o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2.90 a 3.50.

Na Figura 5 é possível observar as curvas granulométricas das duas amostras de agregados miúdos analisadas.

Figura 5 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos avaliados



Fonte: Próprio autor (2019)

O conhecimento das características granulométricas dos agregados miúdos é um parâmetro de suma importância para a definição do traço de concreto a ser utilizado e do fator água/cimento, já que as dimensões do agregado irão influenciar diretamente nas propriedades do concreto como porosidade, resistência e trabalhabilidade (AZEVEDO, 2017).

Em estudo realizado por Martins (2005) ficou comprovado através de ensaios realizados em laboratório que concretos fabricados com agregados de menor teor de finos, tendem a apresentar trabalhabilidade maior, entretanto, com uma leve queda na resistência mecânica. Neste estudo foram confeccionados concretos com alguns tipos de agregados miúdos de diferentes granulometrias mantendo o mesmo traço e fator água/cimento em todas as amostras ensaiadas. Os resultados da resistência do concreto, obtidos através de ensaio de compressão axial, diminuíram à medida que o teor de finos do agregado aumentava. Isso se dá pelo maior índice de vazios entre os agregados graúdos e miúdos, em materiais com essa característica.

Ao observar os dados das areias apresentadas na Tabela 8 junto as curvas granulométricas da Figura 5, nota-se que a areia natural tem maior porcentagem passante e menor módulo de finura. A maior diferença de porcentagem retida fica na peneira 1,18mm, onde a diferença é de 14,9%, deste modo a composição da areia lavada é na sua maior parte por agregados miúdos com diâmetros superior a 1,18mm. A partir dos dados apresentados nas Tabela 6 e 7 pode ser feitos os cálculos dos módulos de finuras dos agregados miúdos exibido na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados dos módulos de finura dos agregados miúdos avaliados.

Agregados	Módulo de Finura
Areia Lavada	4,20
Areia Natural	3,09

Fonte: Próprio autor (2019)

Como o traço do CAA contém os dois tipos de areia, pode-se utilizar o modulo de finura como parâmetro para determinar qual agregado miúdo contém maior quantidade de finos. Na fabricação do concreto auto-adensável deve ser levado em consideração, o agregado que apresenta o maior número de finos, uma vez que no CAA este agregado tem maior participação em porcentagem no traço, nesse caso a areia natural (COUTINHO, 2011). No traço do concreto convencional avaliados ambas areias têm a mesma quantidade. Em contraste, no traço do CAA é visado uma maior trabalhabilidade e fluidez do concreto, deste modo adiciona-se uma quantidade maior de agregado miúdo com menor modulo de finura. Ao comparar os traços dos concretos avaliados disponíveis na tabela 1, a areia natural do CAA em relação ao concreto convencional apresenta um aumento de 35,9%, e considerando a soma total dos agregados miúdos do traço, o CAA necessita de 13,31% mais agregados miúdos.

3.3 Avaliação do custo unitário dos concretos

Para avaliação dos custos dos materiais utilizados na fabricação de concreto auto-adensável foi feito orçamento em três cidades da região de Ceres-Go, essas três cidades foram escolhidas por serem as cidades próximas de Ceres-GO, o objetivo desse levantamento foi encontrar o custo de cada componente do concreto auto-adensável e convencional, como pode ser visto na tabela 9.

Tabela 9 –Custo médio de cada componente do concreto em três cidades.

Materiais	Quant.	Unid.	Valor Unitário (R\$)			Valor médio (R\$)
			Ceres	Itapaci	Carmo do Rio Verde	
Cimento	1	kg	0,460	0,47	0,50	0,477
Água	1	l	-	-	-	0,000
Areia lavada	1	kg	0,049	0,046	0,062	0,052
Areia natural	1	kg	0,049	0,046	0,062	0,052
Brita N° 0	1	kg	0,067	0,067	0,082	0,072
Brita N° 1	1	kg	0,067	0,067	0,082	0,072
Aditivo Polifuncional	1,00	l	-	-	-	-
Aditivo Superplastificante	1,00	l	-	-	-	-

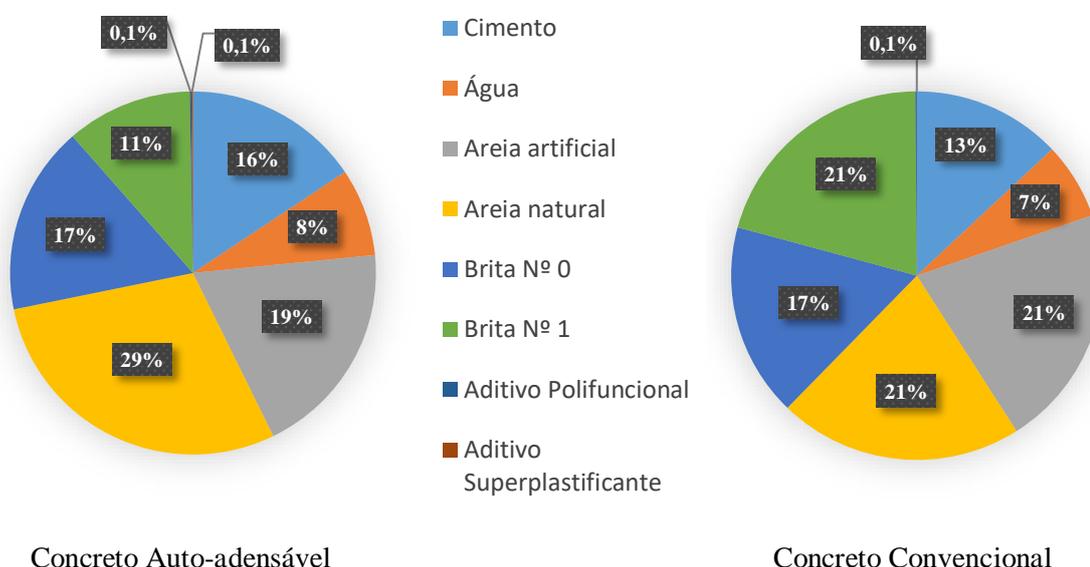
Fonte: Próprio autor (2019)

Na Tabela 9 foi realizado o cálculo do valor médio das três cidades para cada componente do traço de concreto, nota-se que na cidade de Carmo do Rio Verde tem o maior valor unitário de cada material, cerca de 13% maior, esse valor se deve a cidade ser pequena e não ter muitas lojas de materiais de construção, já em Ceres e Itapaci esse valor unitário foi uma o menor valor comparado em três empresas diferentes, como o valor unitário de cada material nas três cidade foi feito o valor médio, que foi utilizado como base para calcular o valor total dos concretos auto-adensável e convencional.

Os gráficos da Figura 6 foram montados para representar a porcentagem de cada material no traço do concreto auto-adensável e convencional. A partir deste gráfico é possível

visualizar de uma forma mais clara a diferença em porcentagem de cada material na composição do traço dos dois concretos.

Figura 6 – Porcentagens de materiais utilizados nos traços de concreto CAA e convencional



Fonte: Próprio autor (2019)

Como pode ser visto na Figura 6, o concreto auto-adensável contém maior quantidade de matérias como cimento e areia, e menor quantidade de agregados graúdos em sua composição fazendo ele ser menos denso. Isso se deve ao fato do concreto auto-adensável (CAA) apresentar alta fluidez, capaz de fazer o material preencher as formas onde é aplicado, passando entre as ferragens e assentando-se somente pela ação do seu peso próprio, não havendo segregação e não havendo necessidade de vibração (GETTU & AGULLÓ, 2004).

Tabela 10 – Valores totais de cada concreto para 1 m³.

Materiais	Concreto convencional			Concreto auto-adensável		
	Quant.	Unid.	Valor (R\$)	Quant.	Unid.	Valor (R\$)
Cimento	300	kg/m ³	143,00	360	kg/m ³	171,60
Água	155	l/m ³	0,00	180	l/m ³	0,00
Areia artificial	492	kg/m ³	25,75	446	kg/m ³	23,34
Areia natural	492	kg/m ³	25,75	669	kg/m ³	35,01
Brita Nº 0	392	kg/m ³	28,22	387	kg/m ³	27,86
Brita Nº 1	477	kg/m ³	34,34	257	kg/m ³	18,50
Aditivo Polifuncional	2,57	l/m ³	0,00	2,65	l/m ³	0
Aditivo Superplastificante	0	l/m ³	0,00	3,00	l/m ³	0
			Valor total:			Valor total:
			257,06			276,32

Fonte: Próprio autor (2019)

Na tabela 10 é possível visualizar o valor do metro cubico dos dois concretos. O concreto auto-adensável ficou 7,5% mais caro que o convencional, esse aumento se deve principalmente acréscimo de cimento no traço do CAA que representa 6,1% do aumento no valor final, e o

segundo material que influência no valor são as areias com 1,1% do aumento do valor do concreto auto-adensável, por último os outros materiais presentes representam apenas 0,3%.

O concreto auto-adensável apesar de ser um concreto mais caro, ele pode ser um ótimo concreto para se aplicar na região de Ceres-GO. A diferença de valor entre o CAA e o concreto convencional pode ficar ainda menor se levar em consideração uma das principais vantagens do concreto auto-adensável, como a redução do custo de aplicação do concreto, por necessitar de menos pessoas para a sua aplicação. Outra vantagem que pode interferir no custo final é a maior rapidez de aplicação na obra, entre outras vantagens como eliminação da necessidade de espalhamento e vibração, fazendo reduzir o nível de ruído (RAMBO, 2009).

Em contraste, o concreto convencional apesar de ser mais barato, pode apresentar várias desvantagens, como a maior dificuldade de aplicação, número maior de mão de obra, por ele ser mais denso e ter maior dificuldade de passar entre as ferragens o que utiliza maquinário para vibração do concreto. Tais fatores podem fazer o concreto convencional se equivaler no custo final da obra, ou até mesmo superar o valor do concreto auto-adensável mesmo constituindo uma produção mais barata.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do concreto auto-adensável na região de Ceres-GO apresenta diversas vantagens, principalmente aquelas ligadas a suas características básicas, como alta fluidez e capacidade de se auto compactar sozinho, e que pode reduzir o uso de mão de obra. Na composição dos dois traços avaliados foi analisado as britas 0 e 1 de diferentes pedreiras que fornecem agregados graúdos na região. Para a brita 0 a melhor brita avaliada foi a do laboratório da UniEVANGÉLICA – Campus Ceres, seu modulo de finura de 1,65 foi o menor de todos. Em relação a brita 1 o melhor resultado obtido foi da pedreira de Jaraguá que apresentou um modulo de finura de 2,72. As duas areias avaliadas podem ser utilizadas na composição do concreto auto-adensável, porém a areia com menor modulo de finura representa a maior porcentagem na composição. O melhor modulo de finura de 3,09 foi para a areia natural representando 29% do traço, enquanto a areia lavada apresentou um modulo de finura de 4,20.

No quesito custo de produção, foi realizado a comparação entre o custo para fabricação do concreto auto-adensável (CAA) e o concreto convencional, essa comparação foi utilizada para verificar a viabilidade para a fabricação de CAA na região de Ceres-GO. Após avaliar o custo, pode-se concluir que o CAA é 7,5% mais caro que o concreto convencional. Apesar disso, essa diferença pode ser facilmente revertida na parte de aplicação do concreto, que requer um menor investimento devido à facilidade em seu manuseio, o que acarreta na não necessidade de mão-de-obra especializada e em menor número de colaboradores, com isso o concreto auto-adensável pode ser um ótimo recurso para a região. Apesar das conclusões animadoras, a produção do CAA através de ensaios laboratoriais utilizando materiais locais do concreto é fundamental para comprovar sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____**ABNT NBR 15823-1**: Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017

_____**ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

AZEVEDO, F. F. Agregado miúdo - A Importância dos Agregados Miúdos no Controle Tecnológico do Concreto. **Conexão Eletrônica**, v. 14, n. 1, p. 2079–2086, 2007.

CALADO, C. F. A. et al. Concreto auto-adensável (CAA), mais do que alternativa ao concreto convencional (CC). Recife: Edupe, 2015.

COUTINHO, S. C. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto auto-adensável**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. **The European Guidelines for Self Compacting Concrete**, n. May, 2005.

FERNEDA, M. C. **Estudo do desenvolvimento de concreto autoadensável com areia artificial em pré-fabricados**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.

GETTU, Ravindra; AGULLÓ, Luis. Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización. (Parte I). **Cemento-hormigón**, v. 75, n. 861, p. 50–67, 2004.

GOMES, P.C.C. Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete. 2002. 139p. Tese - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

KLEIN, Nayara Soares. Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina**, p. 155, 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/enges/dissertacoes/45.pdf>>.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço**. 2006. 128 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

MARTINS, V. C. Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos: estudo de caso. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994, p. 01-02.

NUNES, Sandra C. B. Betão auto-compactável: Tecnologia e propriedades. 2001. Dissertação – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2001.

OKAMURA, H. OZAWA, K. OUCHI, M. Self-compacting concrete. *Structural Concrete*, Nº 1. Março, 2000. pp. 3-17.

OKAMURA, Hajime; OUCHI, Masahiro. Self-Compacting Concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 1, n. 1, p. 5–15, 2003.

RAMBO, Dimas Alan Strauss. **Estudo da Trabalhabilidade do Concreto Autoadensável**. 2009. 58 f. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

TECNOSIL. **Concreto auto-adensável : Principais características e aplicações**. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-auto-adensavel-principais-caracteristicas-e-aplicacoes-2>>. Acesso em: 16 mar. 2019.