

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
MARCOS ANTONIO FRISON ZACARIAS

DOSAGEM DE CONCRETO AUTO ADENSÁVEL DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE 100 MPa

CASCADEL – PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MARCOS ANTONIO FRISON ZACARIAS

**DOSAGEM DE CONCRETO AUTO ADENSÁVEL DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE 100 MPa**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Especialista,
Engenheiro Civil, Jefferson Teixeira Olea
Homrich.**

CASCADEL - PR

2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e aos meus amigos pelo incentivo e eterna inspiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me dar força e inspiração para seguir meu caminho.

Agradeço a minha família por sempre me apoiar e me auxiliar na minha vida e formação acadêmica.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio e incentivo sempre que se fez necessário.

Agradeço à empresa Construtora Saimor, pela oportunidade em realizar meus estágios.

Agradeço à Arquiteta Maria Beal pelo estágio realizado.

Agradeço à empresa DAF Química, a qual atuo trabalhando e desfrutando de seus laboratórios para realização da pesquisa.

EPÍGRAFE

“Se a reta é o caminho mais curto entre dois pontos, a curva é o que faz o concreto buscar o infinito.”

Oscar Niemeyer

RESUMO

Com a demanda de concreto crescendo cada vez mais, estudos ligados ao produto estão sendo realizados com o intuito de criar um diferencial no mercado. É de suma importância a inovação, a fim de se colocar à frente do mercado, conseguindo assim manter-se competitivo apresentando opções de dosagens de concretos diferenciados. Além disso, a busca por concretos de alta resistência é cada vez maior tendo em vista que o uso desses materiais traz elementos estruturais mais esbeltos, armadura mais leve e redução de cargas na fundação. Desta forma este trabalho teve como objetivo desenvolver um traço de concreto alto adensável com resistência à compressão de 100 MPa, com o propósito de aplicação inicialmente em fábricas de pré-moldados e posteriormente, aumentando o campo de aplicação para obras executadas “in loco”. A dosagem do concreto foi desenvolvida pelo método de Tutikian e possui como objetivo comparar o desempenho mecânico do concreto com traço rico, intermediário e pobre, assim como determinar qual traço obteve maior desempenho mecânico, visando atingir a resistência à compressão de 100 MPa. Foram realizados ensaios de *slump flow*, caixa L e funil V para análise da autoadensabilidade do concreto no estado fresco. Além disso, foram moldados 08 corpos de prova para cada traço, tornando-se possível a análise da resistência à compressão e módulo de elasticidade para cada dosagem. Contudo, concluiu-se que posteriormente aos resultados experimentais o traço que obteve maior resistência à compressão, assim como maior módulo de elasticidade foi o traço intermediário; atingindo uma resistência de 92,5 MPa. Portanto, considerando os materiais utilizados e aplicando o método de Tutikian para dosagem do CAA, o traço intermediário apresentou resistência mais próxima a 100 MPa para utilização em estruturas que necessitam de grande resistência mecânica.

Palavra-chave: Auto adensável. Tutikian. *Filler* basáltico. Dosagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Granulometria da areia média.....	28
Figura 2: Granulometria da areia artificial.....	29
Figura 3: Granulometria da brita 0.....	30
Figura 4: Granulometria do <i>filler</i> basáltico.....	31
Figura 5: Fluxograma para dosagem CAA.....	32
Figura 6: Ensaio do funil V.....	34
Figura 7: Espalhamento resultante do traço rico.....	39
Figura 8: Espalhamento resultante do traço intermediário.....	39
Figura 9: Corpos de prova moldados do traço rico e intermediário.....	42
Figura 10: Resistência a compressão para os traços.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conjunto de peneiras de série normal e intermediária.....	11
Tabela 2 – Limites granulométricos do agregado miúdo.....	18
Tabela 3 – Limites granulométricos do agregado graúdo.....	19
Tabela 4 – Teores dos componentes do cimento <i>Portland</i> de alta resistência inicial.....	20
Tabela 5 – Tolerância de tempo para ensaio.....	25
Tabela 6 – Especificações químicas e físicas dos ensaios do cimento <i>Portland</i>	26
Tabela 7 – Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária da areia natural.....	28
Tabela 8 – Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária da areia artificial.....	29
Tabela 9 – Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária da brita 0.....	30
Tabela 10 – Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária do <i>filler</i>	32
Tabela 11 – Quantidade de material para dosagem de 1m ³ de concreto.....	33
Tabela 12 – Composições do traço rico.....	37
Tabela 13 – Composições do traço intermediário.....	38
Tabela 14 – Resultado <i>Slump Flow</i>	38
Tabela 15 – Resultados obtidos pelo ensaio de caixa L.....	40
Tabela 16 – Relação HF/HV obtidos dos concretos.....	41
Tabela 17 – Densidade dos concretos.....	41
Tabela 18 – Resistência à compressão obtido.....	42
Tabela 19 – Módulo de elasticidade obtido.....	44

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Lei Abrams.....	27
Equação 2: Lei de Lyse.....	27
Equação 3: Lei de Molinari.....	27
Equação 4: Teor de Argamassa.....	27
Equação 5: Agregados e Finos.....	27
Equação 6: Consumo de Cimento.....	27
Equação 7: Consumo de Cimento.....	27
Equação 8: Consumo de água potável por um metro cúbico de concreto.....	27
Equação 9: Custo para produzir um metro cúbico de concreto.....	27
Equação 10: Módulo de elasticidade.....	36
Equação 11: Determinação da densidade.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*

PIB – Produto Interno Bruto

MPa – Megapascal (unidade de medida)

CAA – Concreto Auto Adensável

ARI – Alta Resistência Inicial

CP – Cimento *Portland*

CP's – Corpos de Prova

NBR – Normas Brasileiras

VMA – Aditivo Modificador de Viscosidade

HRC - Padrão de Dureza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1	INTRODUÇÃO 13
1.2	OBJETIVOS 14
1.2.1	Objetivo geral 14
1.2.2	Objetivos específicos 14
1.3	JUSTIFICATIVA 14
1.4	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA 15
1.5	FORMULAÇÕES DA HIPÓTESE 15
1.6	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA 15
CAPÍTULO 2	16
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16
2.1.1	Concreto na construção civil 16
2.1.2	Materiais 17
2.1.2.1	Agregados 17
2.1.2.2	Cimento..... 19
2.1.2.3	Aditivo 20
2.1.3	Ensaaios..... 22
2.1.3.1	Slump Flow..... 22
2.1.3.2	Funil V 22
2.1.3.3	Caixa L..... 23
2.1.3.4	Propriedades do concreto no estado endurecido 23
2.1.3.5	Resistência à compressão 23
2.1.4	Dosagem 25
2.1.4.1	Métodos de dosagem 25
2.1.4.2	Método de Tutikian 25
2.1.5	Propriedades do concreto no estado fresco..... 24
CAPÍTULO 3	26

3.1	METODOLOGIA	26
3.1.1	Tipo de estudo e local da pesquisa	26
3.1.2	Caracterização dos materiais	26
3.1.2.1	Cimento.....	26
3.1.2.2	Agregados miúdos	27
3.1.2.3	Agregado graúdo	29
3.1.2.4	Aditivo	30
3.1.2.5	Adição mineral, filler basáltico.....	31
3.1.3	Instrumentos e procedimentos para coleta de dados.....	32
3.1.3.1	Dosagem	32
3.1.3.2	Ensaio do concreto no estado fresco.....	33
3.1.3.3	Ensaio do concreto no estado endurecido.....	34
3.1.3.1.1	Moldagem e cura dos corpos de prova.....	35
3.1.3.1.2	Ensaio de resistência à compressão.....	35
3.1.3.1.3	Ensaio do módulo de elasticidade	35
3.1.3.1.4	Ensaio determinação da densidade.....	36
CAPÍTULO 4		37
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1.1	Dosagem dos concretos	37
4.1.1.1	Dosagem do traço rico.....	37
4.1.1.2	Traço intermediário	38
4.1.2	Resultados obtidos no estado fresco do concreto	38
4.1.2.1	Slump Flow	38
4.1.2.1	Funil V.....	40
4.1.2.2	Caixa L	40
4.1.2.3	Densidade	41
4.1.3	Resultados obtidos no estado endurecido	41
4.1.3.1	Resistência à compressão	41

4.1.3.2 Módulo de elasticidade	43
CAPÍTULO 5.....	45
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
CAPÍTULO 6.....	47
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS	48

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Ao se considerar a construção civil, é fundamental destacar o principal produto utilizado, o concreto, que segundo SANTOS (2013), representa também, o segundo item mais consumido do mundo. Projeções otimistas destacam que no ano de 2025, o concreto passará a ser o produto mais consumido, superando a produção de água potável.

Uma pesquisa solicitada pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), na qual os dados foram coletados entre os anos de 2005 e 2012, validam que no ano de 2012, a produção de concreto no Brasil atingiu 51 milhões de metros cúbicos dosados em usinas, e sua projeção era que para o ano de 2017, a produção deveria atingir 72,3 milhões de metros cúbicos.

Com a demanda de concreto crescendo cada vez mais, estudos ligados ao produto estão sendo realizados com o intuito de criar um diferencial no mercado.

No Japão, o professor Hajime Okamura iniciou estudos sobre concreto auto adensável (CAA) na década de 1980, sua pesquisa surgiu da necessidade de se obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, visando otimizar a proporção dos materiais e não necessitando de adensamento mecânico do concreto (GOMES e BARROS, 2009).

É de suma importância a inovação, a fim de se colocar à frente deste mercado, conseguindo assim manter-se competitivo apresentando opções de modelos de concreto para se oferecer ao comércio. No Brasil, segundo HELENE E HARTMANN (2001), é tangível o concreto com resistência superior a 100 MPa, chegando a 155,5 MPa em 63 dias, isso, com concreto de alto desempenho, levando o país ao recorde mundial em 2001.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um traço de CAA pelo método de Tutikian com resistência à compressão de 100 MPa, com o propósito de aplicação inicialmente em fábricas de pré-moldados e posteriormente, aumentando o campo de aplicação para obras concretadas “*in loco*”, devido ao fato que o CAA reduz a necessidade de grande quantidade de mão de obra, tempo de execução e otimização dos materiais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um traço de concreto auto adensável com resistência à compressão de 100 Mpa utilizando o método de dosagem de Tutikian.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar o desempenho mecânico do concreto com traço rico, intermediário e pobre;
- Determinar qual traço obteve maior desempenho mecânico, visando atingir a resistência à compressão de 100 MPa.
- Determinar o Módulo de elasticidade dos concretos dosados.

1.3 JUSTIFICATIVA

O concreto vem constantemente sofrendo aprimoramentos com o passar dos anos, visto que seu uso se torna constante para a construção civil. Com o intuito de inovar em seu uso, o concreto auto adensável, proporciona facilidade para seus usuários, sendo possível vencer grandes vãos, com acabamento superior, assim como proporcionar a diminuição do uso da mão de obra para manuseio do mesmo, visto que não necessita da presença de vibradores e operários para adensar o material, contribuindo desta forma para realização de concretagens em áreas elevadas minimizando os riscos.

Devido ao fato da resistência elevada, atingindo 100 MPa, este concreto suporta mais esforços que concretos convencionais. É possível diminuir as seções de pilares e vigas, o que ocasiona um alívio das cargas na fundação e aumenta a durabilidade da obra. Se a obra empregada, por exemplo, for um edifício que tenha estacionamento no subsolo, a redução das seções dos pilares pode aumentar consideravelmente a quantidades de garagens, valorizando o imóvel, além de diminuir o consumo de concreto e contribuir para o meio ambiente, reduzindo as matérias-primas utilizadas.

O propósito deste trabalho acadêmico justifica-se pela importância do tema na construção civil visto que o concreto é repensável por suportar todos os esforços estruturais

solicitados e a necessidade de ampliar conhecimento e devido à falta de profissionais na área, visando permanecer no mercado de trabalho, atuando no projeto a ser desenvolvido.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Utilizando o método de dosagem de Tutikian e considerando os materiais disponíveis é possível dosar um traço de CAA que apresente resistência mecânica de 100 MPa?

1.5 FORMULAÇÕES DA HIPÓTESE

Através da curva de dosagem gerada pelo método de Tutikian, será possível determinar um traço de CAA com resistência mecânica de 100 MPa.

1.6 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao desenvolvimento da dosagem de concreto pelo método de Tutikian, utilizando como agregado graúdo a brita 0, agregado miúdo a areia natural média e areia industrial, utilizando como fino o *filler basáltico*, cimento CP-V ARI e aditivo Policarboxilato (superplastificante) com intuito de alcançar a resistência de 100 MPa. A realização dos ensaios foi em um laboratório, na instituição de ensino Centro Universitário Assis Gurgacz, situada na cidade de Cascavel, Paraná.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados neste capítulo todos os materiais utilizados, suas definições e normas de utilização e caracterização.

2.1.1 Concreto na construção civil

O material ideal para construção, de acordo com Bastos (2006), é aquele que ostenta qualidades como a resistência e durabilidade. A pedra, muito usada em construções antigas, apresenta alta tenacidade e constância em sua composição. A madeira denota pouca resistência e sua durabilidade é limitada. Da mesma forma, o ferro e o aço sofrem uma pequena deficiência em sua durabilidade em consequência dos processos de corrosão que podem sofrer.

O concreto armado manifestou-se por meio da necessidade de aliar os componentes pedra e aço, e assim, adquirir vantagens na construção como facilidade e brevidade.

Os materiais de construção produzidos à base de cimento podem ser considerados um dos maiores feitos pelo homem, pois possibilitaram desenvolver edificações, projetos de habitação, barragens, obras sanitárias, escolas, museus, palácios entre outros tipos de construção. A grande quantidade de matérias-primas acrescentada a sua forma e variações na aplicação serviram de motivo para o seu desenvolvimento, desde os tempos primórdios até os dias atuais (Bastos, 2006).

Na antiguidade, os romanos foram os que se sobressaíram na aplicação do concreto e argamassa, possibilitando a criação de espaços amplos em formato de arco, abóbodas, cúpulas dentre outros. Compatibilizando o concreto da época com tijolos de argila, pedras entre outros materiais de origem natural, produziram obras admiráveis e únicas daquele período, que tempos depois vieram a se modificar e se desenvolver pela presença da arquitetura presente na época (Bastos, 2006).

Segundo Gomes e Barros (2009), o CAA vem despertando interesse de pesquisadores pelo mundo apresentado grande quantidade de estudos ao seu respeito devido a quantidade de aplicações que justificadas pelas vantagens que tornaram-se atrativas para as construtoras, em nosso país não poderia ser diferente, com o crescimento de pesquisas a respeito desse material e o aumento de sua aplicação a cada ano.

O CAA apresenta grande versatilidade em sua aplicação, pois pode ser utilizado tanto moldado “*in loco*” na indústria de pré moldados, pode ser dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto e depois transportado por meio de caminhões betoneira, também pode ser lançado com bombas de concreto, guas ou simplesmente espalhado, porém poucas referências foram publicadas relacionados ao CAA em obras de engenharia sendo que, normalmente, ele é utilizado em estruturas especiais, onde é complicado se concretar com o concreto convencional (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1.2 Materiais

2.1.2.1 Agregados

Em relação ao tamanho dos grãos, a NBR 7211 (2009), classifica-os em:

Agregado miúdo: Os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm;

Agregado graúdo: Os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm.

A NBR NM 7211 (2009), apresenta a série de peneiras que são seguidas perante NM-ISO 3310-1 ou 2 com as aberturas de malha estabelecidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Conjunto de peneiras de série normal e intermediária.

Série Normal	Série Intermediária
75mm	–
–	63 mm
–	50 mm
37,5 mm	–
–	31,5 mm
–	25 mm
19 mm	–
–	12,5 mm
9,5 mm	–
–	6,3 mm

4,75 mm	–
2,36 mm	–
1,18 mm	–
0,6 mm	–
0,3 mm	–
0,15 mm	–

Fonte: ABNT NBR NM 248, (2009).

O módulo de finura é a soma de porcentagens do material retido acumulado nas peneiras de série normal, dividido por 100, e a dimensão máxima característica é a porcentagem retida acumulada, igual ou inferior, à massa em 5% da malha da peneira em milímetros (NBR 7211; 2009).

A NBR 7211 (2009), considera que os agregados devem ser constituídos por grãos de minerais compactos, duros, duráveis e limpos, como também não conter substâncias da natureza que venham a afetar a hidratação e o endurecimento do cimento. Exige-se ainda que não afete a proteção da armadura em relação à corrosão, como também não interfira na durabilidade e no aspecto do concreto.

O material retido deve estar situado dentro de limites granulométricos, os quais são determinados como parâmetros, segundo a NBR 7211 (2009), tanto para agregado miúdo como para agregado graúdo, respectivamente, relacionado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Limites granulométricos do agregado miúdo.

PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA NA PENEIRA ABNT				
Peneiras	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
0,6 mm	15	35	55	70
0,3 mm	50	65	85	95
0,15 mm	85	90	95	100

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009).

Tabela 3 – Limites granulométricos do agregado graúdo.

PENEIRAS	PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA				
	Zona Granulométrica d/				
(mm)	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75	–	–	-	–	0 – 5
63	–	–	-	–	5 – 30
50	–	–	-	0 – 5	75 – 100
37,5	–	–	-	5 – 30	90 – 100
31,5	–	–	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25	–	0 – 5	5 – 25	87 – 100	–
19	–	2 – 15	65 – 95	95 – 100	–
12,5	0 – 5	40 – 65	92 – 100	–	–
9,5	2 – 15	80 – 100	95 – 100	–	–
6,3	40 – 65	92 – 100	–	–	–
4,75	80 – 100	95 – 100	–	–	–
2,36	95 – 100	–	–	–	–

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009).

Esta norma apresenta algumas particularidades, como a possibilidade de utilização de areias com granulometrias fora das zonas apresentadas, porém, recomenda-se que devem ser realizados estudos prévios de dosagem ou que a faixa granulométrica seja apropriada para a determinada região.

2.1.2.2 Cimento

Definido pela NBR 5733 (1991), como Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial designado pela sigla (CPV-ARI), aglomerante hidráulico produzido para atender às exigências de alta resistência inicial obtido pela moagem de clínquer, composto em maior parte por silicatos de cálcio hidráulicos, no qual, durante a operação, adiciona-se a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, destarte, podendo ainda durante a moagem, adicionar materiais constituídos em sua maior parte de carbonato de cálcio (carbonáticos), em teor especificado, segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Teores dos componentes do cimento *Portland* de alta resistência inicial.

Componentes (% em massa)		
SIGLA CP V-ARI	Clínquer + sulfatos de cálcio	Material carbonático
	100 – 95	0 – 5

Fonte: ABNT NBR 5733 (1991).

Segundo a NBR 5733 (1991), a designação (ARI) Alta Resistência Inicial, representa o mínimo de resistência à compressão aos 7 dias de idade, em torno de 34,0 Mega Pascal (MPa).

2.1.2.3 Aditivo

De acordo com a NBR 1763 (1992), aditivos são produtos que adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento *Portland*, modificam algumas propriedades, em função de adequar e melhorar para determinadas situações.

A mesma apresenta várias categorias de tipos de aditivos, sendo:

- Aditivos Plastificantes: caracterizados como Tipo P, aumentam o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água. Também possibilitam a redução de 6% de água para amassamento, a fim de produzir o concreto com determinada consistência;
- Aditivos Retardadores: caracterizados como tipo R, aumentam os tempos de início e fim de pega do concreto;
- Aditivo Acelerador: caracterizado como Tipo A, diminui os tempos de início e pega do concreto, acelerando o desenvolvimento da resistência inicial;
- Aditivo Plastificante Retardador: Tipo PR, combina os efeitos dos aditivos retardador e plastificante;
- Aditivo Plastificante Acelerador: denominado Tipo PA, combina os efeitos do aditivo acelerador e plastificante;
- Aditivo Incorporador de Ar: caracterizado como Tipo IAR, é o produto que incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto;
- Aditivo Superplastificante: denominado Tipo SP, aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água ou possibilitando a

redução de 12% na quantidade dessa para fabricar o concreto com determinada consistência;

- Aditivo Superplastificante Retardador: é o Tipo SPR, que combina os efeitos dos aditivos retardadores e superplastificante;
- Aditivo Superplastificante Acelerador: caracterizado como Tipo SPA, combina os efeitos do aditivo superplastificante e acelerador.

Na obediência a alguns requisitos para o desempenho, como o ensaio que deve ser efetuado, de acordo com a NBR-1401, assim também como as propriedades do concreto com aditivo devem ser comparadas ao concreto referência, atendendo a requisitos como os apresentados na tabela 1 da norma, exceto os aditivos incorporadores de ar (Tipo IAR), os demais, quando destinados a concretos sem ar incorporado, não devem apresentar um teor de ar maior que 3%. No entanto, quando destinados a concretos com ar incorporado, não devem apresentar teor maior de 5%.

Em relação à uniformidade e equivalência, a NBR sugere que os ensaios para a verificação da uniformidade de um lote ou lotes diferentes devem ser realizados de acordo com MB-2645. Os ensaios devem ter por base uma mostra inicial como referência, já as amostras ensaiadas posteriormente, devem satisfazer as tolerâncias impostas na Tabela 2, sejam elas de um mesmo lote ou diferentes.

Em relação ao tamanho do lote e número de amostras para os aditivos líquidos, para cada lote de no máximo 2000 kg de aditivo, devem apresentar, no mínimo, três amostras simples com volume de 1L cada, destinando-se à verificação da uniformidade do lote. Para os ensaios de verificação de equivalência e desempenho deve ser adquirida uma amostra para cada lote. Já para os aditivos não líquidos, a cada lote, de no máximo 2000 Kg, devem apresentar, no mínimo, quatro amostras simples, de no mínimo, 1 kg cada, as amostras compostas devem apresentar 3 kg de acordo com a NBR-11768 (1992).

A NBR EB-1763 aponta que as amostras de aditivos líquidos devem ser embaladas em frascos impermeáveis, bem vedados, para não ser contaminados e resistentes ao ataque do produto. Os aditivos não líquidos devem ser embalados de forma a não apresentar contato com a umidade, sendo homogeneizadas antes da realização dos ensaios. Os aditivos que não atenderem aos preceitos desta norma devem ser rejeitados, bem como o que estiverem com a qualidade comprometida.

2.1.3 Ensaios

2.1.3.1 *Slump Flow*

De acordo com a NBR 15823-2 (2010), para a realização deste ensaio, a placa de base e o molde são umedecidos com água, e sobre o molde, o operador deve se colocar sobre as laterais para mantê-lo estável, rapidamente, o suporte deve ser preenchido de forma contínua e uniforme, sem qualquer adensamento. Em seguida, retirar o complemento tronco cônico do molde e a base deve receber uma limpeza superficial por conta do material em excesso, visto que, após a retirada do equipamento, o concreto deve deslizar sobre as bordas do molde. A placa deve ser limpa rapidamente, retirando todos os resíduos. Desta forma, a desmoldagem é realizada, retirando o molde em um único movimento retilíneo, em um tempo menor que 5 segundos. Todo o processo deve ser realizado em um tempo de um minuto. Em relação à desmoldagem, o cronômetro deve ser iniciado logo que o operador comece a levantar o molde, sendo parado quando a massa de concreto cobrir totalmente a marca circular de diâmetro de 500 mm da placa de base, registrando este intervalo de tempo. Sendo esse o resultado do ensaio e o espalhamento da massa de concreto, obtida pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro, realizadas em mm, já o tempo de escoamento é o intervalo de tempo, entre o início e o final do escoamento do concreto.

2.1.3.2 Funil V

A NBR 15823-5 (2010), rege as prescrições para a determinação da viscosidade pelo método do Funil V, nas quais o procedimento consiste em que o Funil V deve ser preenchido totalmente de forma uniforme, em um tempo menor que 5 minutos após a coleta, sem qualquer interrupção ou adensamento. Logo após, o recipiente metálico deve ser posicionado sob o funil V, a fim de coletar o concreto, no qual o excesso de concreto deve ser retirado com a colher de pedreiro. Abrindo a comporta em até 30 segundos após o preenchimento, acionando juntamente o cronômetro até o seu desligamento (quando todo concreto for escoado), em que este intervalo de tempo deve ser marcado. O procedimento deve ser realizado novamente de acordo com os passos anteriores, no entanto, excluindo a necessidade de o aparelho ser limpo, mas, desta vez, a comporta deve ser aberta após 5 minutos do preenchimento, coletando o intervalo de tempo novamente.

2.1.3.3 Caixa L

Para a determinação da habilidade passante do concreto auto adensável, a NBR 15823-4 (2010), prescreve o método através da caixa L, que é fabricada de modo a não reagir ou absorver os componentes do concreto, e assim, permite verter toda a mistura no molde de uma vez só. A amostra deve ter mais ou menos 15 litros de concreto e ser homogênea. Para o ensaio a temperatura ambiente deve estar controlada em 23 ± 2 e, no mínimo, 50% da umidade.

A caixa L deve ser limpa com água e internamente ser aplicada uma fina camada de desmoldante, nivelando a mesma sobre uma superfície plana. A caixa L deve ser preenchida sem adensamento e uniforme com a mistura de concreto em até 2 minutos, após a coleta. Retirando o excesso com a colher de pedreiro a comporta deve ser aberta de 30 a 60 segundos para que o concreto escoe para a câmara horizontal. As alturas devem ser medidas para o cálculo da habilidade passante, ou seja, a razão entre as alturas da superfície de concreto nas extremidades da câmara horizontal ($HP=H2/H1$).

2.1.3.4 Propriedades do concreto no estado endurecido

Grandes proporções de estudo veem sendo realizados quanto ao comportamento do concreto no estado fresco, contudo, conforme exposto por Domone (2006), quando se tem em análise o estudo estrutural do concreto são as propriedades do material no estado endurecido que ganham maior relevância.

2.1.3.5 Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto auto adensável, é determinada através do ensaio de compressão uniaxial na idade de 28 dias, conforme recomendações da NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007).

Conforme exposto por Melo (2005), fatores como a composição do material, influenciam fortemente nas propriedades do concreto auto adensável no estado endurecido, fazendo com que o material apresente uma microestrutura mais homogênea, com menor porosidade quando comparada aos concretos convencionais, fazendo com que a resistência à compressão dos CCA apresente resultado satisfatoriamente maior que a dos concretos convencionais para a mesma relação de água/cimento.

Em relação à aparelhagem, a NBR 5732 (1991), destaca que a máquina deve ser de nível 1 para ensaios realizados no laboratório, já para laboratórios instalados em centrais de concretos e obras, sugere-se classe 2. Posicionado ao centro, o eixo do corpo cilíndrico deve coincidir com o da máquina, na qual a resultante das forças passará pelo centro e o sistema de medição de força pode ser digital ou analógico, em ambos, a indicação de força máxima alcançada deve ser fornecida para a leitura.

A NBR 5732 (1991), especifica que sejam dois pratos de compressão de aço, nos quais as superfícies de contato apresentem sua menor dimensão 4% superior ao maior diâmetro do corpo de prova a ser ensaiado e a sua dureza superficial de, no mínimo, 55 HRC.

O prato inferior deve ser removível em função da manutenção e estar perpendicular ao eixo da máquina durante o ensaio. Com a finalidade de auxiliar na centralização do corpo de prova, o diâmetro do círculo externo deve ser 4 mm superior ao do corpo de prova, profundidade menor que 7 mm e largura menor que 1 mm (NBR 5732, 2007).

Em relação ao prato superior, após a aplicação de força inicial, o mesmo não deve movimentar-se, desta forma as superfícies devem ser mantidas limpas e lubrificadas apenas com uma fina camada de óleo mineral comum (NBR 5732, 2007).

A NBR 5732 (2007), indica que o preparo dos corpos de prova a serem ensaiados devem atender à relação altura/diâmetro nunca maior que 2,02, caso seja menor que 1,94

Até o ensaio ser realizado, os corpos de prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada, conforme as NBR 5738, NBR 7680 E NBR 9479. Preparadas as bases, de acordo com a NBR 5738 (2015), antes do ensaio devem garantir a condição de cura (NBR 5732, 2007).

Em uma idade específica, os corpos de prova devem ser rompidos à compressão com tolerância de tempo, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5 – Tolerância de tempo para ensaio.

Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Fonte: ABNT NBR 5739 (2007).

Limpos e secos são submetidos à centralização no equipamento para que o carregamento seja aplicado de forma constante até o momento de ruptura.

2.1.4 Dosagem

2.1.4.1 Métodos de dosagem

Segundo Aitcin (2000), o objetivo de qualquer método de dosagem é determinar uma combinação de materiais adequadamente e economicamente para realização do concreto, que possibilite um equilíbrio entre as propriedades desejadas ao menor custo possível disponibilizado no mercado.

Os métodos de dosagem para o CAA apesar de também serem métodos empíricos, apresentam diferenças quanto comparados aos métodos utilizados de dosagem para a execução do concreto convencional. Para Gomes *et al* (2009), os procedimentos e teorias desenvolvidos para cada método contribui com a evolução do conhecimento sobre o comportamento do concreto auto adensável, permitindo a obtenção de misturas que possibilitem as propriedades de fluência e estabilidade do material.

Dentre os métodos presentes nas biografias, o presente trabalho conta com a utilização do método de Tutikian, para estabelecer a dosagem ideal do concreto auto adensável.

2.1.4.2 Método de Tutikian

Segundo Tutikian (2007), os estudos voltados para o concreto auto adensável vêm aumentando gradativamente devido à utilização desse, no Brasil e no mundo. Dessa forma, a maioria das pesquisas volta-se para as propriedades mecânicas da mistura no estado endurecido, deixando de lado a análise da dosagem do material.

É necessário que sejam determinadas e mantidas as características do concreto, propriedades como a trabalhabilidade e a estabilidade no concreto auto adensável são as mais importantes. As propriedades e a proporção são fatores indispensáveis para otimização desta mistura. Este tipo de concreto é deixado de lado, quando consideradas algumas propriedades, principalmente, no estado endurecido, que afetam o desempenho da estrutura, como, por exemplo, o módulo de elasticidade, mas, sabe-se que os materiais utilizados para fabricar o

CAA são parecidos com os utilizados para o CCV, como também as propriedades no estado endurecido, não sendo elevadas (TUTIKIAN; 2007).

Sob esta perspectiva, foi proposto um método de dosagem, no qual a mistura pode ser obtida de forma a aproximar os custos para com o CCV, método prático, exequível e eficiente por ser executado em qualquer local com os materiais disponíveis, seguindo algumas especificações (TUTIKIAN; 2009).

O Concreto Auto Adensável (CAA), conforme Tutikian (2007) é um material que pode ser moldado nas formas e preencher cada espaço através de seu peso próprio, excluindo a necessidade de vibração externa ou compactação. Essa autoadensabilidade do concreto é caracterizada como a habilidade que o material apresenta de preencher os espaços através da força da gravidade mantendo-se homogêneo.

O método proposto por Tutikian (2007) é baseado no método IPT/EPUSP, de Helene e Terzian, prático e experimental, contém passos a serem seguidos para o objetivo final. Já para a escolha dos materiais, características a serem analisadas como o custo, disponibilidade em quantidade e distâncias aceitáveis são necessárias. Especificar o diâmetro do agregado, o qual é aconselhado que seja menor que 19 mm, como também os finos, devem ser cuidadosamente escolhidos, devendo ter uma área superficial maior que o que está sendo substituído, sendo pozolânicos substituirão o cimento se não pozolânicos substituirão o agregado miúdo.

Como segundo passo, apresenta-se a determinação do teor de argamassa seca. Sem os aditivos ou finos, deve-se manter constante até o final da dosagem. Se escolhidos materiais não pozolânicos, as equações de 1-9 devem ser utilizadas. O consumo dos aglomerantes deve ser calculado pelas equações 6 e 7 para não pozolânicos.

Erro! Fonte de referência não encontrada.

$$f_{cj} = \frac{k_1}{(k_2^{a/c})} \quad (\text{eq. 1})$$

$$m = k_3 + k_4 * a / c \quad (\text{eq. 2})$$

$$C = \frac{1000}{(k_5 + k_6 * a / c)} \quad (\text{eq. 3})$$

$$\alpha = \frac{(1 + f + a)}{(1 + m)} \quad (\text{eq. 4})$$

$$m = a + p + f \quad (\text{eq. 5})$$

$$C = \frac{\gamma}{(1 + f + a + p + a / c)} \quad (\text{eq. 6})$$

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\left(\frac{1}{\gamma_c} + \frac{f}{\gamma_f} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a / c \right)} \quad (\text{eq. 7})$$

$$A = C * a / c \quad (\text{eq. 8})$$

$$Cu = C * \$c + C * f * \$f + C * a * \$a + C * p * \$p + C * SP\% * \$sp + C * VMA\% * \$vma + C * a / c * \$ag \quad (\text{eq. 9})$$

Onde:

F_{cj} = resistência à compressão axial, à idade j, em MPa;

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ = constantes que dependem exclusivamente dos materiais;

a = relação agregado miúdo seco / aglomerante em massa, em kg/kg;

c = relação cimento / aglomerantes em massa, em kg/kg;

m = relação agregados secos / aglomerantes em massa, em kg/kg

C = consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado, em kg/m³;

α = teor de argamassa seca, deve ser constante para uma determinada situação, em kg/kg;

f = relação fino não pozolânico / aglomerantes em massa, em kg/kg;

p = relação agregado graúdo seco / aglomerantes em massa, em kg/kg;

γ = massa específica do concreto, medida no canteiro em kg/m³;

γ_c = massa específica do cimento, em kg/m³;

γ_f = massa específica dos finos não pozolânicos, em kg/dm^3 ;

γ_a = massa específica do agregado miúdo, em kg/dm^3 ;

γ_p = massa específica do agregado graúdo, em kg/dm^3 ;

a_r = teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm^3/m^3 .

C_u = custo do concreto por metro cúbico;

$\$c$ = custo do kg de cimento;

$\$f$ = custo do kg de material fino pozolânico;

$\$a$ = custo do kg de agregado miúdo;

$\$p$ = custo do kg de agregado graúdo;

$\$s_p$ = custo do kg de aditivo superplastificante;

$\$v_{ma}$ = custo do kg de aditivo modificador de viscosidade;

$\$a_g$ = custo do kg de água potável.

O terceiro passo consiste em determinar os traços ricos, intermediário e pobre, através dos materiais definidos e o teor de argamassa determinado, deve-se escolher três traços base para efetuar o diagrama (rico, intermediário e pobre), dessa forma, com as curvas de dosagem e coeficientes de correlação, poderá ser dosada qualquer mistura com estes componentes. Deve-se manter o teor de argamassa constante em massa para serem considerados da mesma família e posteriormente colocados no mesmo gráfico. Quando utilizados materiais de massa específica diferentes, haverá variação, porém, é importantíssimo que traços unitários 1:m diferentes não ocorram variações (TUTIKIAN; 2009).

O quarto passo refere-se à colocação do aditivo e consequente segregação, significa que nesta etapa o concreto receberá o aditivo superplastificante e os materiais finos, ou seja, alterado para concreto auto adensável. A quantidade de aditivo adicionada é em função da massa do aglomerante, começando com pequenas quantidades de 0,30% da massa de cimento e, posteriormente, aumentando até o ideal. O valor definido deve ser o mesmo para todos os traços, no qual o ideal é que o concreto esteja bastante fluído, dispensando os ensaios de trabalhabilidade. A agilidade é fundamental devido ao curto tempo dos superplastificantes, mais ou menos 50 minutos. Colocado o aditivo, os finos devem ser adicionados (TUTIKIAN; 2009).

O quinto passo consiste em tornar o concreto coeso e fluído ao mesmo tempo. Se pozolânico, o material fino, o cimento deve ser substituído, se não for pozolânico deve substituir o agregado miúdo. Para a dosagem do CAA uma tabela foi criada para auxiliar na proporção do material fino em relação ao substituído, na qual o concreto deve apresentar índices dentro dos limites estabelecidos de trabalhabilidade (TUTIKIAN; 2009).

O sexto passo é executado para verificar se o concreto precisa de algumas alterações ou se já está da forma desejada, com a substituição dos materiais por finos e a adição do aditivo superplastificante, o material fica menos fluido e mais coeso, dessa forma, é necessário o ensaio de trabalhabilidade cada vez que são adicionados os finos. O concreto estará pronto quando se enquadrar dentro dos limites (TUTIKIAN; 2009).

O sétimo passo refere-se às duas formas de manter estabilidade junto à fluidez do CAA, que ocorrem da seguinte maneira: adicionando sólidos finos ou adicionando o aditivo modificador de viscosidade (VMA), o mesmo pode substituir os finos, porém, nem sempre é considerado como vantagem. Tendo em mão o traço sem o VMA, os materiais devem ser calculados, posteriormente, é necessário substituir parte dos finos pelo aditivo e recalcular o custo. Esta troca não é obrigatória, aplica-se apenas para melhorar o traço quando as situações não forem favoráveis ou disponíveis (TUTIKIAN; 2009).

O oitavo passo trata sobre os traços definidos, a moldagem dos corpos de prova deve ser realizada para os ensaios de compressão nas idades desejadas, sendo no mínimo, dois para cada idade de ensaio, assim, devem ser moldados sem compactação ou vibração, somente fluindo para as formas. A cura deve ser realizada de forma úmida para 3, 7 e 28 dias normalmente, possibilitando então os resultados do ensaio para a formulação do diagrama e, posteriormente, o cálculo de comportamento e dos coeficientes de correlação (TUTIKIAN; 2009).

Por fim, o passo nove indica o desenho do diagrama por meio de dados adquiridos e as equações de comportamento e coeficientes de correlação, podendo-se dosar o Concreto Auto Adensável com os respectivos materiais escolhidos.

2.1.5 Propriedades do concreto no estado fresco

As propriedades do concreto autoadensável no estado fresco são o que o diferenciam do concreto convencional, visto que o controle do concreto neste estado se torna fundamental para obtenção da qualidade do mesmo. Segundo *Repetteet al* (2001), o concreto auto adensável deve em sua composição apresentar as seguintes propriedades no estado fresco:

- Habilidade de preenchimento do meio, devendo o mesmo se auto compactar, sem vibração, mantendo a mistura homogênea;
- Habilidade de passagem, de forma que a mistura venha fluir sobre os obstáculos, como por exemplo as armaduras;

- Resistencia à segregação, devendo a mistura manter-se homogênea durante o transporte e a aplicação da mesma.

Para que o concreto tenha como habilidade o preenchimento se faz necessário que a fluidez da pasta e da argamassa seja elevada, assim como sua coesão, para que o mesmo permaneça homogêneo após a aplicação do material. Para Okamura e Ouchi (2003) a fluidez do material está relacionado com a sua coesão do concreto, visto que, um material coeso contribui com sua homogeneidade em áreas restritas ou com elevada quantidade de armaduras.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

O presente trabalho, por meio de pesquisa experimental, foi desenvolvido um traço de concreto auto adensável (CAA), sendo o mesmo dosado pelo método de Tutikian (2007), que visa à qualidade do concreto e possibilita redução das dimensões de vigas, pilares, lajes e demais elementos estruturais, devido ao fato de ter resistência elevada, consequentemente, alivia as cargas das fundações, reduzindo significativamente o consumo de materiais e mão de obra; permitindo o levantamento do custo financeiro para se produzir um metro cúbico de concreto pelo método utilizado. A dosagem experimental da pesquisa foi desenvolvida no laboratório do Centro Universitário Assis Gurgacz, situada na cidade de Cascavel - Paraná.

3.1.2 Caracterização dos materiais

3.1.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP-V ARI (Cimento *Portland* de alta resistência inicial) da marca Itambé, com características de alta reatividade devido à moagem; tal escolha foi feita por se tratar de um concreto de alto desempenho visando que seus resultados são superiores aos demais cimentos disponíveis no mercado, tendo sua massa específica média de $3,12 \text{ g/dm}^3$, conforme exposto nas Tabelas 6.

Tabela 6: Especificações químicas e físicas dos ensaios do cimento *portland*.

QUIMICOS											
Data	Al2O3	SiO2	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Perda Fogo	CaO Livre	Resíduo Insolúvel	Equiv. alcalino	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Média	4,14	19,21	2,96	60,19	4,12	3,09	3,28	0,75	0,79	0,69	
FISICOS											
Data	Expans. Quente	Tempo de pega (h:min)		Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistencia a compressão			
	mm	Inicio	Fim	%	cm²/g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias

Média	0,2	03:08	03:51	30,6	4.332	0,21	1,39	22,4	37,9	45,2	54,8
-------	-----	-------	-------	------	-------	------	------	------	------	------	------

Fonte: Itambé (2017).

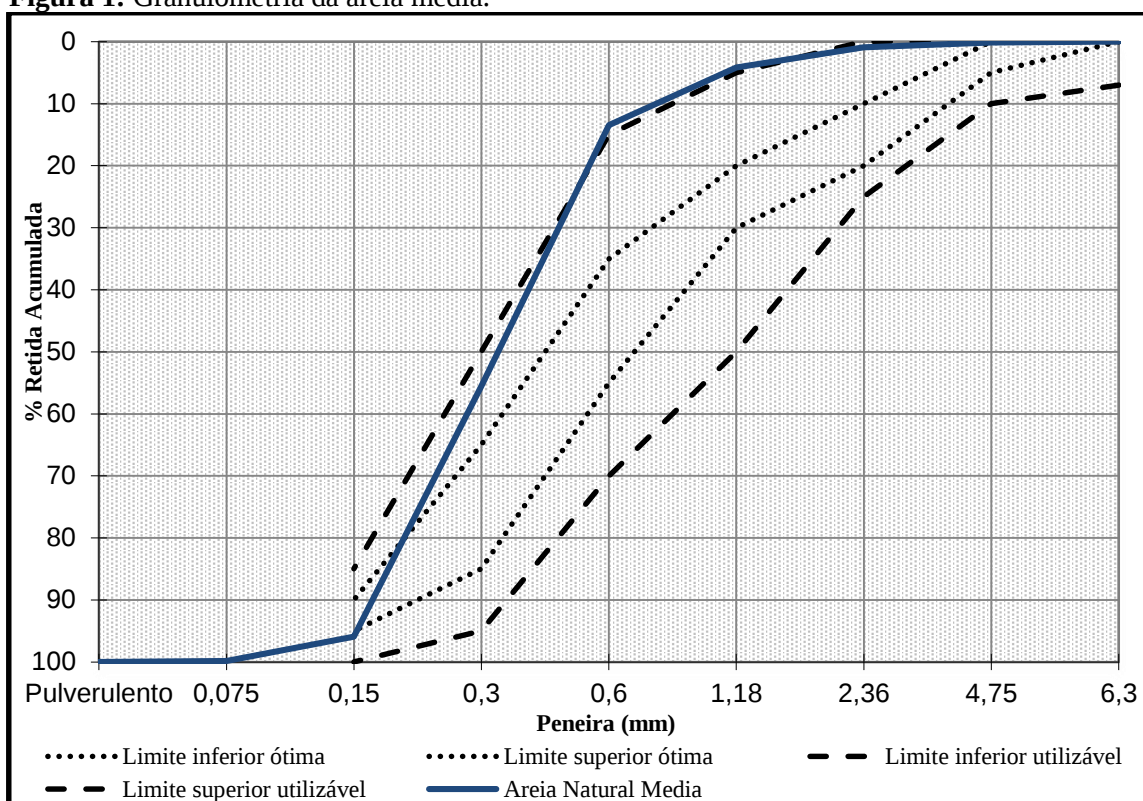
3.1.2.2 Agregados miúdos

Conforme recomendações da NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), as caracterizações destes agregados foram efetuados mediante a realização dos procedimentos especificados, para determinação do módulo de finura e faixa granulométrica seguindo as especificações da NBR NM 248 e massa específica conforme NBR NM 52 – Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009).

- Areia natural

A areia natural utilizada para elaboração da pesquisa foi a média, sendo extraída do Rio Paraná e fornecida pela empresa de mineração Andreis, tendo seu módulo de finura, massa específica e unitária, obtido pelo ensaio apoiado nas normas NBR 7217 (1987), NBR 9776 (1987) e NBR NM 45 (2006), conforme recomendações bibliográficas.

Na Figura 1 apresenta-se a curva granulométrica obtida através dos ensaios supracitados para a areia média.

Figura 1: Granulometria da areia média.

Fonte: Autor (2017).

A tabela 7 apresenta os dados adquiridos através dos ensaios realizados, como o módulo de finura do material, material pulverulento, massa específica e massa unitária da areia média.

Tabela 7: Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária da areia natural.

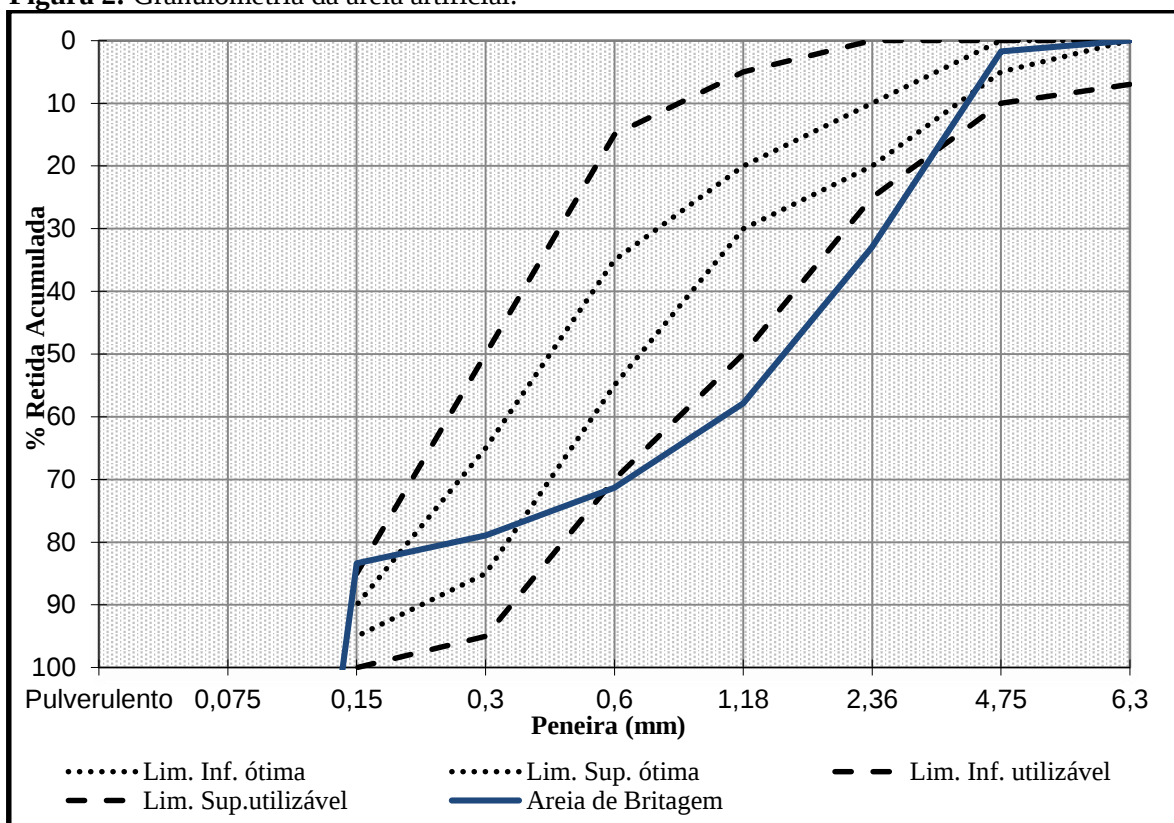
Diâmetro máximo (mm)		1,18
Módulo de finura		1,70
Material pulverulento (%)		0,16
Massa específica (kg/dm ³)		2,700
Massa unitária úmida (kg/m ³)		1532

Fonte: Autor (2017).

- Areia artificial

A areia artificial que é obtida através da mineração da jazida situada na cidade de Realeza, Paraná e fornecida pela empresa de mineração Concrevalle, tendo seu módulo de finura, massa específica e unitária, obtido pelo ensaio apoiado na norma NBR 7217 (1987), NBR 9776 (1987) e NBR NM 45 (2006), conforme recomendações bibliográficas.

Na Figura 2 apresenta-se a curva granulométrica obtida através dos ensaios supracitados para a areia artificial.

Figura 2: Granulometria da areia artificial.

Fonte: Autor (2017).

A tabela 8 apresenta os dados adquiridos através dos ensaios realizados, como o módulo de finura do material, material pulverulento, massa específica e massa unitária da areia.

Tabela 8: Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária da areia artificial.

Diâmetro máximo (mm)	4,75
Módulo de finura	3,26
Material pulverulento (%)	9,98
Massa específica (kg/dm³)	2,900
Massa unitária úmida (kg/m³)	1573

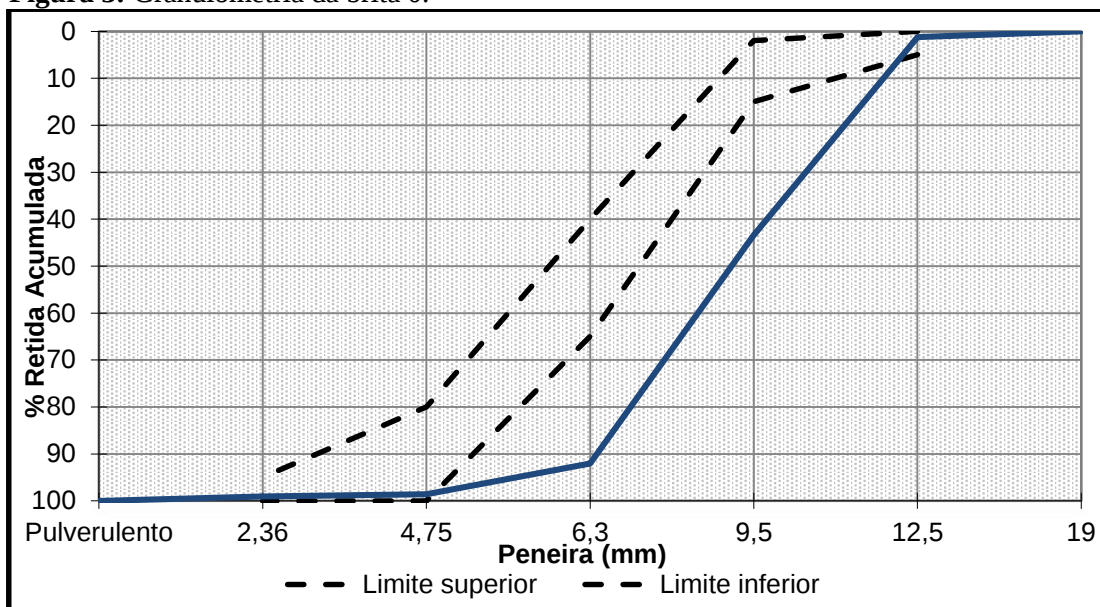
Fonte: Autor (2017).

3.1.2.3 Agregado graúdo

A brita 0 ou conhecida também como pedrisco, tem a função de dar travamento na mistura, a mesma foi obtida através da mineração da jazida situada na cidade de Realeza – Paraná, sendo fornecida pela empresa de mineração Concrevalle, tendo seu módulo de finura, massa específica e unitária, obtido pelo ensaio apoiado na norma NBR 7217 (1987), NBR 9776 (1987) e NBR NM 45 (2006), realizados pelo pesquisador.

Na Figura 3 se apresenta a curva granulométrica obtida através dos ensaios supracitados para a brita 0.

Figura 3: Granulometria da brita 0.



Fonte: Autor (2017).

A tabela 9 apresenta os dados adquiridos através dos ensaios realizados, como o módulo de finura do material, material pulverulento, massa específica e massa unitária da brita 0.

Tabela 9: Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária da brita 0.

Diâmetro máximo (mm)	12,50
Módulo de finura	6,41
Material pulverulento (%)	0,96
Massa específica (kg/dm ³)	2,941
Massa unitária úmida (kg/m ³)	1526

Fonte: Autor (2017).

3.1.2.4 Aditivo

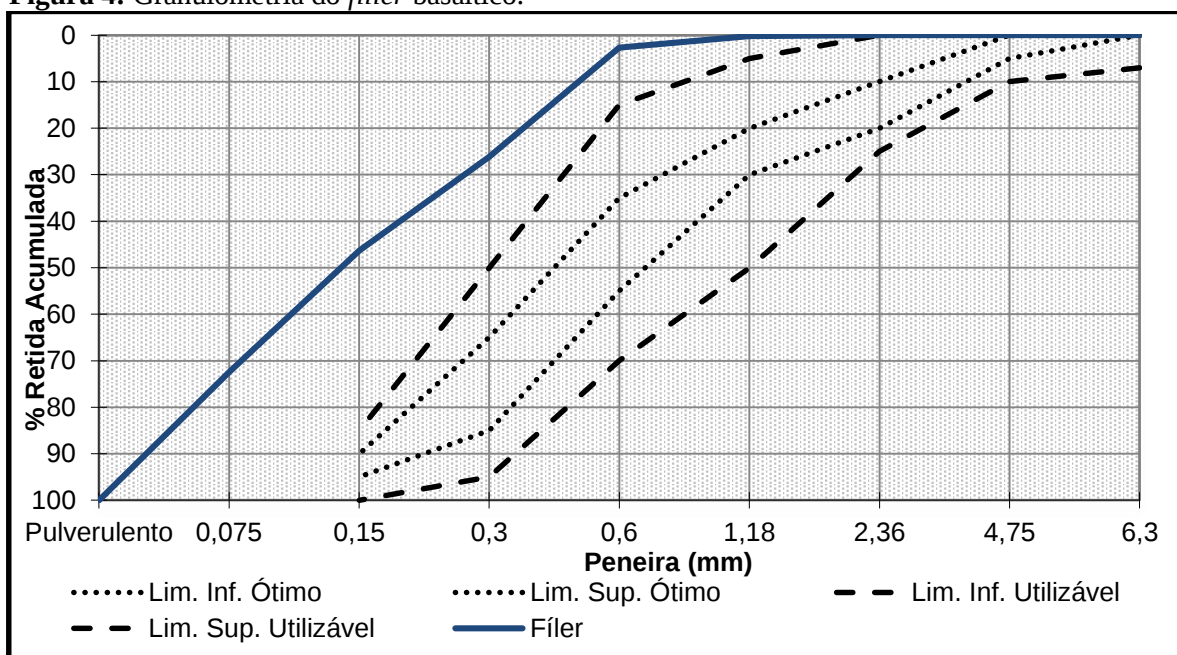
O aditivo utilizado foi *Fort Flow* fornecido pela empresa DAF Química, sendo o mesmo um aditivo superplastificante de terceira geração baseado em polímeros de éteres carboxílicos modificados, a função de repulsão eletrostática sobre os grãos de cimento gera o excelente efeito dispersante desta classe de aditivos, assim, possibilita a fabricação de concretos fluidos com baixo consumo de água (fator A/C) e alta plasticidade, obtendo ganhos

significativos das resistências mecânicas iniciais e finais, atendendo as normas ABNT NBR 11.768 (2011) (tipo SP). Seu estado físico é líquido com peso específico de $1,095 \pm 0,02 \text{ g/dm}^3$.

3.1.2.5 Adição mineral, *filler* basáltico.

Filler basáltico é um material obtido através da moagem fina de rocha basáltica. Tem a função de diminuir a capilaridade e permeabilidade do concreto, tendo seu módulo de finura, massa específica e unitária, obtido pelo ensaio apoiado na norma NBR NM 248 (2003) e na NBR 7211 (2005) e fornecido o laudo pelo laboratório do fabricante. Além do laudo fornecido pelo fabricante, foram realizados os mesmos testes pelo pesquisador, resultando na granulometria apresentada na Figura 4.

Figura 4: Granulometria do *filler* basáltico.



Fonte: Autor (2017).

Os demais dados obtidos referentes ao *filler* basáltico podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10: Módulo de finura, material pulverulento, massa específica e massa unitária do *filler*.

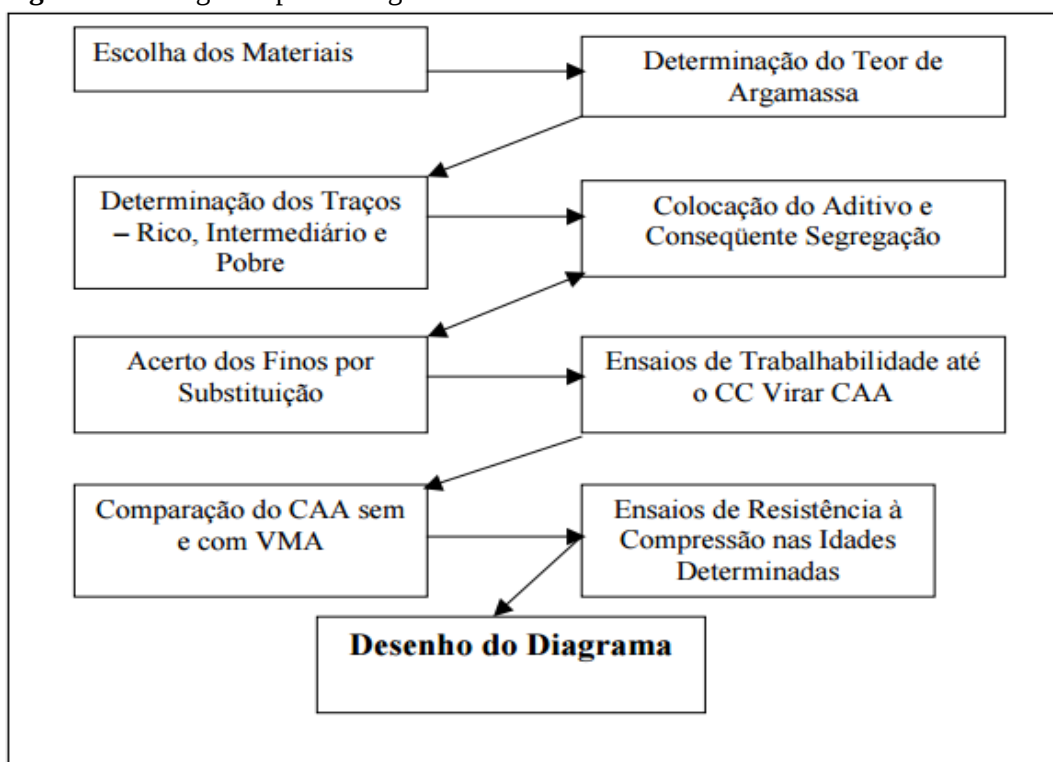
Módulo de finura	0,75
Material pulverulento (%)	27,54
Massa específica (kg/dm ³)	2,756
Massa unitária úmida (kg/m ³)	1291

Fonte: Autor (2017).

3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

3.1.3.1 Dosagem

A dosagem consistiu em três traços, rico, intermediário e pobre, sendo o esqueleto do traço fornecido pela empresa DAF química para o desenvolvimento do presente projeto. A dosagem foi efetuada pelo método Tutikian (2007), que é um método prático que deve seguir passos para garantir o devido resultado, como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Fluxograma para dosagem do CAA.

Fonte: Tutikian (2007).

3.1.3.2 Ensaios do concreto no estado fresco

Com o intuito de desenvolver um concreto auto adensável que atinja a resistência de 100 MPa, foi adotado a dosagem base fornecido pela empresa DAF Química (2017). Através do traço padrão fez-se a produção do concreto para o traço rico, intermediário e pobre, sendo possível determinar a quantidade de material necessário para produção de cada traço, conforme exposto na Tabela 11.

Tabela 11: Quantidade de material para dosagem de 1m³ de concreto.

Material	Traço Rico	Traço intermediário	Traço pobre
	Para 1m ³	Para 1m ³	Para 1m ³
Cimento (Kg)	700	650	600
Filler basáltico (Kg)	42	46	36
Areia Natural	307	333	360
Areia Artificial (Kg)	77	104	130
Brita 0 (Kg)	1080	1080	1080
Água (l)	197	181	240
Aditivo (l)	8,2	7,61	7,81

Fonte: Autor (2017).

Para o desenvolvimento do concreto auto adensável, realizou-se a pesagem dos materiais de acordo com as quantidades específicas para cada traço, em sequência se realizou a umidificação da betoneira, seguindo a seguinte ordem para colocação dos materiais sob a mesma:

- 100% do quantitativo de brita 0;
- 50% do quantitativo de água;
- 100% do quantitativo da areia natural e industrial;
- 100% do quantitativo de cimento;
- 50% do quantitativo de água;
- 100% do quantitativo de aditivo plastificante.

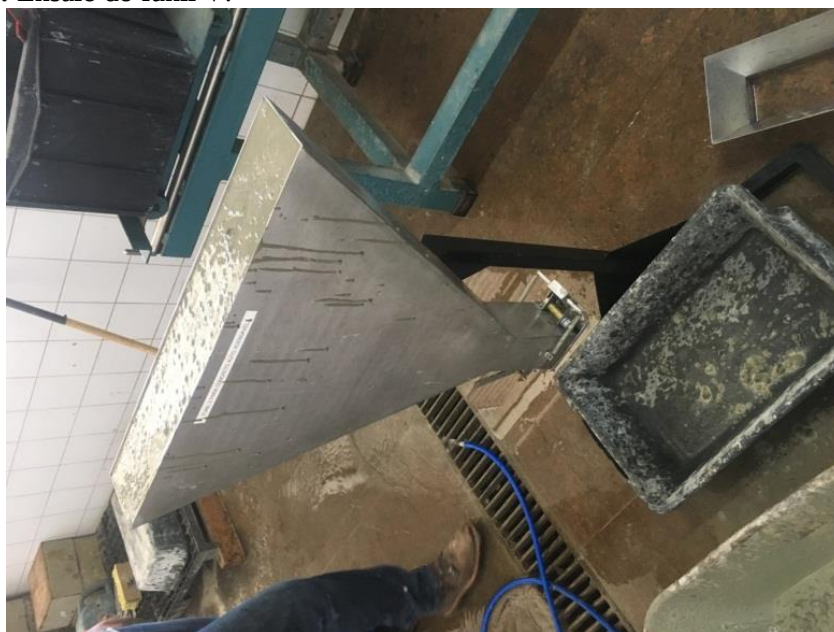
Após o procedimento de mistura dos materiais na betoneira iniciou-se os ensaios de análise de autoadensabilidade do concreto.

Com o intuito de avaliar a autoadensabilidade do concreto ~~no estado fresco da mistura~~ realizou-se o ensaio de *slump flow*, também conhecido como espalhamento da mistura, conforme recomendações da NBR 15823-2 (2010). Neste ensaio obteve-se a medida referente

a duas medidas perpendiculares do diâmetro, realizadas em mm, de forma que sua resultante é a média aritmética resultante das duas medidas obtidas no ensaio.

De forma a avaliar a fluidez da mistura realizou-se o ensaio do Funil V, conforme recomendações da NBR 15823-5 (2010), que determina a habilidade do concreto em atravessar uma área sem necessitar de vibrações, por meio do preenchimento total do funil V e análise do tempo de escoamento total desta mistura, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Ensaio do funil V.



Fonte: Autor (2017).

Para análise da capacidade passante de concreto auto adensável através de obstáculos realizou-se o ensaio da Caixa L, conforme recomendações da NBR 15823-4 (2010), que consiste em medir o tempo necessário para atingir a marca de 40cm do trecho horizontal de escoamento e o seu preenchimento na caixa sem que ocorra segregação. Ao final do ensaio foram medidas a altura final do trecho horizontal da caixa, assim como seu trecho vertical, conforme percurso realizado pela mistura.

3.1.3.3 Ensaios do concreto no estado endurecido

Os ensaios realizados no estado endurecido do concreto permitem avaliar seu desempenho após submetê-los ao período de cura dos mesmos, sendo possível acompanhar suas resistências adquiridas conforme período de cura propostos.

3.1.3.1.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015). Sendo moldados, para cada mistura, 08 (oito) corpos de prova cilíndricos com dimensão 10 x 20 cm, cuja desmoldagem dos mesmos ocorreram 24h após sua moldagem, permanecendo em câmara úmida até a idade de rompimento.

Para a moldagem dos corpos de prova com concreto auto adensável não se utiliza o procedimento de adensamento do concreto com haste metálica, visto que, o material possui a característica de ser auto adensável, não necessitando de vibrações ou interferências externas para seu adensamento sob a forma, sendo preenchidas somente as formas cilíndricas com o concreto até sua borda superior, seguido da execução de nivelamento da base superior com a utilização de uma colher de pedreiro.

Foram moldados 08 (oito) corpos de prova para cada traço, de forma que fosse possível avaliar a resistência a compressão dos mesmos após submetê-los a câmara úmida por 1 dia, 07 dias e 28 dias.

3.1.3.1.2 Ensaio de resistência à compressão

Posteriormente ao período de cura do concreto de 01 dia, 07 dias e 28 dias, as bases dos corpos de prova foram retificadas até suas superfícies tornarem-se planas, através da remoção de uma fina camada das duas bases dos corpos de prova. Para início da realização do ensaio, cada corpo de prova foi posicionado sob o prato inferior da máquina de compressão, conforme recomendações da NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007).

3.1.3.1.3 Ensaio do módulo de elasticidade

Para a determinação do módulo de elasticidade, foram utilizadas as recomendações da NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade a compressão (ABNT, 2008), sendo utilizados 02 corpos de prova para cada traço proposto na idade de 28 dias para determinação do módulo.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade foi realizado na mesma prensa hidráulica utilizada para os ensaios de resistência a compressão, obtendo-se as leituras de deslocamento através de uma carga aplicada sobre os corpos de prova, resultando assim na obtenção da curva tensão *versus* deformação. De forma que para a obtenção do módulo de elasticidade aplicou-se a Equação 10, conforme recomendações da norma supracitada:

$$E = \frac{\sigma b - \sigma a}{\varepsilon b - \varepsilon a} \quad (10)$$

Onde:

σb é a tensão maior (30% da tensão de ruptura);

σa é a tensão básica (0,5 MPa);

εa é a deformação específica média correspondente a tensão maior;

εb é a deformação específica média correspondente a tensão básica.

3.1.3.1.4 Ensaio determinação da densidade

Para determinação da densidade do concreto no estado fresco, o material foi introduzido em um recipiente, de volume conhecido (400 ml) e massa previamente determinada (M1), até seu completo preenchimento. Posteriormente a área superior foi nivelada com a colher de pedreiro. Após execução do nivelamento o recipiente com concreto foi pesado para a obtenção da massa M2, com tolerância de 1g. O concreto utilizado no ensaio foi descartado após a conclusão do mesmo.

Após determinação das referidas massas, tornou-se possível a obtenção da densidade por meio da aplicação da Equação 11:

$$\lambda = \frac{M2 - M1}{V} \quad (11)$$

Onde:

λ é a massa específica aparente em quilogramas por décimo cúbico;

M2 é a massa do recipiente com o concreto, em quilogramas;

M1 é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V é o volume do recipiente tarado, em décimos cúbicos.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram abordados nesse capítulo os resultados obtidos com a realização dos ensaios, além das discussões a respeito dos mesmos.

4.1.1 Dosagem dos concretos

Para a pesquisa foram executados o traço rico e intermediário, sendo executados conforme proposto pelo método de Tutikian (2007).

4.1.1.1 Dosagem do traço rico

Um traço base fornecido pela empresa DAF química foi utilizado como referência para a pesquisa, com isso definiu-se o traço rico que foi 1:0,06:0,4386:0,11:1,5429 (cimento, *filler* basáltico, areia natural, areia industrial e brita 0), elaborados de acordo com os passos proposto no método de Tutikian (2007), Assim procedendo-se da execução da seguinte sequência:

Adição de agregado graúdo;

Adição de agregado miúdo;

Adição do aglomerante;

Adição de água;

Adição do aditivo superplastificante, ocasionando a segregação da mistura.

Em sequência se iniciou a substituição dos agregados miúdo pelo *filler* basáltico, chegando à proporção ideal em relação ao cimento, somando à substituição mais a porcentagem de material pulverulento presente na areia industrial, conforme proposto na Tabela 12.

Tabela 12: Composição do traço rico.

Material	Por m ³		Teor de finos
Cimento	700 kg	M	
<i>Filler</i> Basáltico	42 kg	0,06	
Areia Natural	307 kg	0,438571429	53%
Areia Artificial	77 kg	0,11	

Brita 0	1080 kg	1,542857143	
Água	197,00 L		
Aditivo	8,20 L		

Fonte: Autor (2017).

4.1.1.2 Traço intermediário

O traço intermediário seguiu o que foi desenvolvido para o traço rico e os mesmos procedimentos foram realizados. A composição do traço intermediário segue o que está exposto na Tabela 13.

Tabela 13: Composição do traço intermediário.

Material	Por m ³		Teor de finos
Cimento	650 kg	M	
Filler Basáltico	46 kg	0,07	
Areia Natural	333 kg	0,512307692	53%
Areia Artificial	104 kg	0,16	
Brita 0	1080 kg	1,661538462	
Água	181,00 L		
Aditivo	7,61 L		

Fonte: Autor (2017).

4.1.2 Resultados obtidos no estado fresco do concreto

4.1.2.1 *Slump Flow*

O ensaio de *slump flow* foram realizados conforme recomendações da NBR 15823-2 (2010), obtendo os resultados expostos conforme Tabela 14 e Figura 7 e 8.

Tabela14: Resultado *slump flow*.

Traço	Tempo (s)	Espalhamento (mm)
Traço rico	4,48	600
Traço intermediário	3,58	670

Fonte: Autor (2017).

Figura 7: Espalhamento resultante do traço rico.



Fonte: Autor (2017).

Figura 8: Espalhamento resultante do traço intermediário.



Fonte: Autor (2017).

Os dados resultantes obtidos atendem aos limites propostos por Nunes (2001), Coppola (2001) e Gomes (2002), sendo, portanto caracterizado a mistura como um concreto auto adensável. Conforme análise das imagens supracitadas torna-se possível verificar que para as duas dosagens não ocorreram à manifestação da exsudação do concreto para os dois traços executados, sendo visualizado apenas nas imagens a presença de excesso da água que restou

após lavagem das chapas adotadas para a realização dos ensaios, tornando-se um erro de execução dos procedimentos e uso dos materiais por parte do pesquisador, e não uma propriedade apresentada pela dosagem.

4.1.2.1 Funil V

O ensaio do funil V, foram executados conforme recomendações da NBR 15823-5 (2010), obtendo um tempo de 8,57 segundos para o escoamento de todo com CAA com traço rico; e um tempo de 7,95 segundos para o traço intermediário. Desta forma os resultados apresentados para ambos os traços se adequam aos critérios elaborados por Coppola (2001), que define o tempo ideal de escoamento de 2 a 12 segundos, assim como para o parâmetro estabelecido por EFNARC (2002), com escoamento de 6 a 12 segundos.

4.1.2.2 Caixa L

O ensaio realizado da caixa L foi executado conforme recomendações da NBR 15823-4 (2010), obtendo para o traço rico um tempo de 0,90 segundos para alcançar 20 centímetros e de 2,52 segundos para alcançar 40 centímetros, teve o tempo de 11 segundos para ficar inerte tendo suas respectivas medidas HF=8,5 centímetros e HV=9 centímetros. Consequentemente, com os valores obtidos se torna possível a obtenção da relação de HF/HV para o traço rico de 0,944.

Para o traço intermediário, o mesmo obteve um tempo de 0,98 segundos para alcançar os 20 centímetros e de 2,83 segundos para alcançar 40 centímetros, teve o tempo de 12 segundos para ficar inerte, obtendo suas respectivas medidas de HF= 7,5 centímetros e HV= 8 centímetros. Desta forma a relação HF/HV para o traço intermediário resulta em 0,938, conforme exposto na Tabela 15 e 16.

Tabela 15: Resultados obtidos pelo ensaio de caixa L.

Traço	Tempo para 20cm (s)	Tempo para 40cm (s)	Tempo inerte (s)	HF (cm)	HV (cm)
Traço rico	0,90	2,52	11,00	8,50	9,00
Traço intermediário	0,98	2,83	12,00	7,50	8,00

Fonte: Autor (2017).

Tabela 16: Relação HF/HV obtidos dos concretos.

Traço	HF (cm)	HV (cm)	HF/HV
Traço rico	8,5	9	0,944
Traço intermediário	7,5	8	0,938

Fonte: Autor (2017).

Para os resultados obtidos na pesquisa, os resultados apresentados para os dois traços atendem aos critérios dos ensaios de auto adensibilidade, pois segundo EFNARC (2002), os resultados referentes à relação de HF/HV devem ser entre 0,8 a 1, conforme recomendações bibliográficas.

O aditivo de mudança de viscosidade também não foi utilizado na pesquisa, visto que, sem a adição do mesmo nos traços proposto os mesmos já apresentaram todas as características necessárias para caracterizar os concretos como auto adensáveis.

4.1.2.3 Densidade

Os ensaios para a obtenção da densidade foram efetuados através de um recipiente cilíndrico com volume conhecido de $1,57 \text{ cm}^3$ com massa de 193,2 gramas, sendo adicionado concreto em seu estado fresco de traço rico obtendo uma massa de 4289,8 gramas, assim sua densidade foi obtida por meio da resultante da Equação 11 mencionada no capítulo anteriormente, e recomendações da NBR 14086 (ABNT, 1998) resultando na densidade de 2,61 Kg/cm^3 . Os mesmos procedimentos foram realizados para o concreto de traço intermediário, de forma que o mesmo resultou em uma massa de 4135,1 gramas, e uma densidade de 2,51 Kg/cm^3 para o mesmo, conforme dados apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Densidades dos concretos.

Traço	Densidade (Kg/cm^3)
Traço rico	2,61
Traço intermediário	2,51

Fonte: Autor (2017).

4.1.3 Resultados obtidos no estado endurecido

4.1.3.1 Resistência à compressão

A resistência foi obtida com o rompimento axial dos corpos de prova nas suas respectivas idades, de acordo com a norma NBR 5739 (2007), tais são apresentados conforme tabela 18.

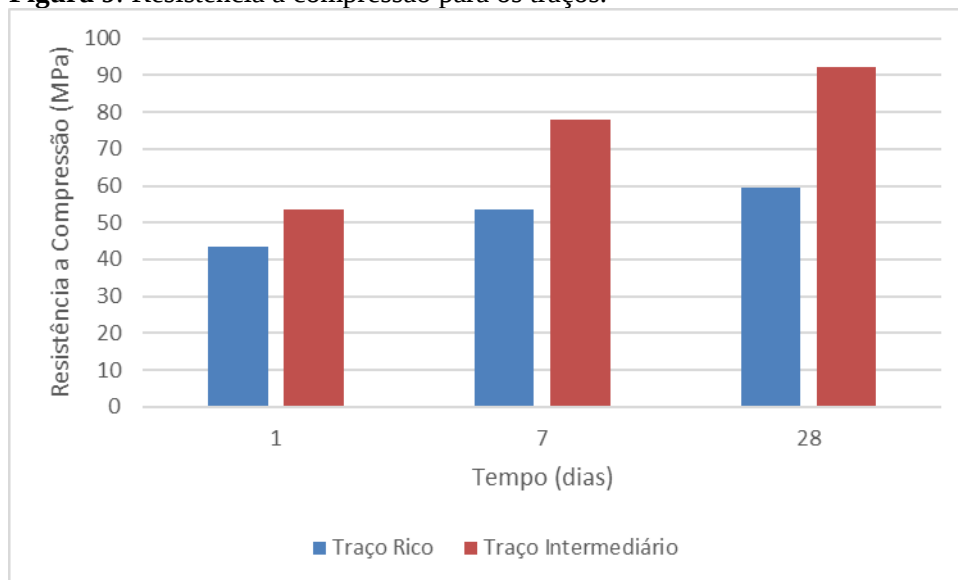
Tabela 18: Resistência à compressão obtida.

Tempo (dias)	Resistência à compressão					
	Traço rico			Traço intermediário		
	Tensão CP 01 (MPa)	Tensão CP 02 (MPa)	Tensão Média (MPa)	Tensão CP 01 (MPa)	Tensão CP 02 (MPa)	Tensão Média (MPa)
1 dia	44,00	43,10	43,55	53,10	53,80	53,45
7 dias	57,10	50,00	53,55	77,90	78,10	78,00
28 dias	50,10	69,20	59,65	86,80	97,50	92,15

Fonte: Autor (2017).

Diante dos dados apresentados, verifica-se que as tensões apresentadas apresentam suas diferenças para cada traço, de maneira que o traço rico obteve maiores proporções quando comparado com o traço intermediário, conforme exposto na Figura 9.

Figura 9: Resistência à compressão para os traços.



Fonte: Autor (2017).

Com base nos dados apresentados pode-se determinar que o traço intermediário apresentou maiores resistências quando submetidos à compressão, pois o traço intermediário foi o traço fornecido pela DAF química, enquanto que para o traço rico o traço base foi ajustado conforme instruções do método de Tutikian, não obtendo uma resultante significativa em sua resistência mecânica à compressão.

Desta forma, podemos concluir que o traço intermediário obteve maior desempenho quando comparado ao traço rico, devido a seus quantitativos de materiais apresentarem proporções diferentes quanto ao quantitativo de agregado pertinente ao traço rico, resultando consequentemente em um elevado módulo de elasticidade e elevada resistência à compressão para o traço intermediário.

Esta diferença significativa quanto a sua resistência mecânica apresentada aos 28 dias, em que o traço intermediário apresentou uma resistência de aproximadamente 92 MPa, enquanto o traço rico obteve aproximadamente uma resistência de aproximadamente 59 MPa, torna o uso do concreto auto adensável com traço intermediário mais eficaz para utilização em estruturas que necessitam de grande resistência mecânica.

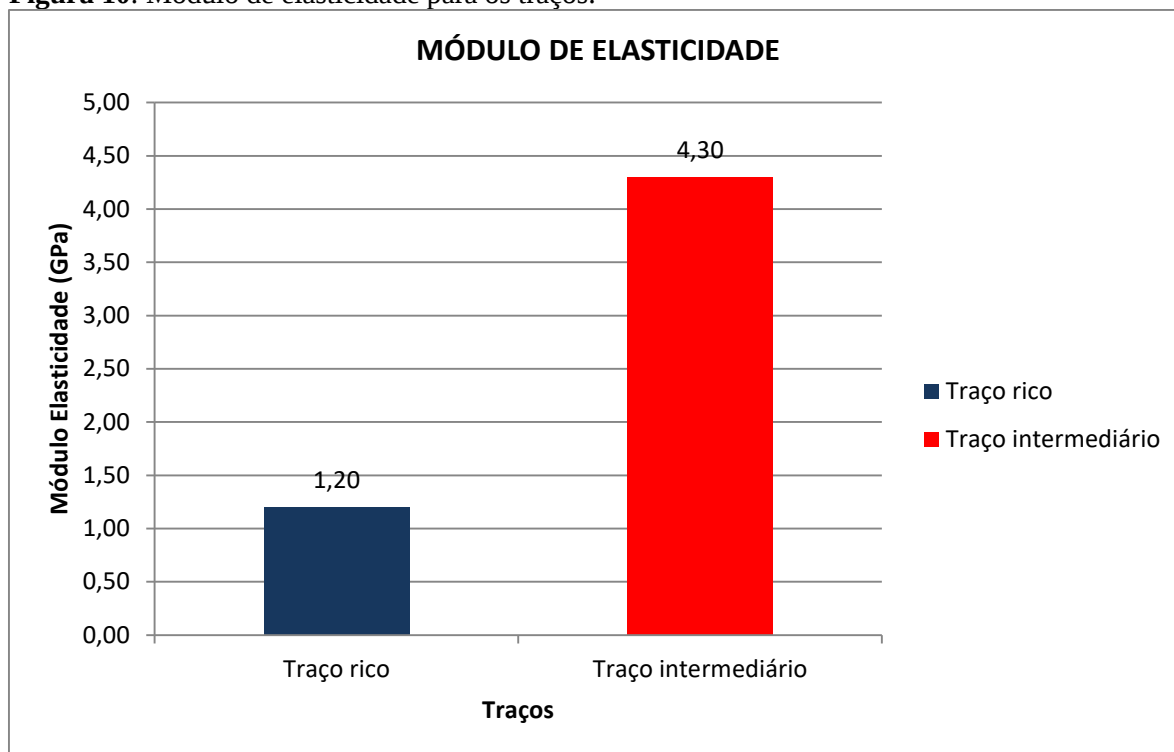
4.1.3.2 Módulo de elasticidade

No período de 28 dias no rompimento axial foi realizado o ensaio do módulo de elasticidade, apoiado pela norma NBR 8522 (2008), sendo executado o ensaio de módulo para cada traço de 02 (dois) corpos de prova, resultando nos seguintes resultados conforme apresentado na Tabela 19 e Figura 10.

Tabela 19: Módulo de elasticidade obtido.

Tempo (dias)	Módulo de elasticidade					
	Traço rico			Traço intermediário		
	Módulo CP 01 (GPa)	Módulo CP 02 (GPa)	Média Módulo (GPa)	Módulo CP 01 (GPa)	Módulo CP 02 (GPa)	Média Módulo (GPa)
28 dias	0,0	2,4	1,2	5,1	3,5	4,30

Fonte: Autor (2017).

Figura 10: Módulo de elasticidade para os traços.

Fonte: Autor (2017).

Conforme exposto na Tabela 21 e Figura 11, para o traço rico o módulo de elasticidade apresentado foi de 1,2 GPa, enquanto que, para o traço intermediário o módulo de elasticidade apresentado foi de 4,30 GPa. Esta diferença pode ser explicada devido ao fato de que, para a execução do traço intermediário houve a maior utilização do quantitativo de *filler* basáltico, areia natural e areia artificial quando comparado com os quantitativos utilizados para o traço rico; sendo o concreto um material heterogêneo, seu módulo de elasticidade é determinado pela sua fração volumétrica, densidade e módulo dos agregados, de forma que os agregados têm significativa influência sobre o módulo, pois agregados densos têm um módulo de elasticidade alto, e quanto maior seu quantitativo na mistura em um concreto, maior será seu módulo de elasticidade (NEVILLE, 2013).

Para o módulo de elasticidade em CAA, espera-se valores mais baixos quando há maior adição de materiais finos e adições quando associados à menor quantidade de agregados miúdos (HOLSCHEMACHER, 2004).

Para Mehta e Monteiro (2008), os concretos de maior resistência a compressão tendem a apresentar maior módulo de elasticidade, conforme apresentado nos resultados obtidos para cada traço anteriormente, de maneira que, concretos com maior volume de agregados tendem a ter maior módulo de elasticidade, e assim consequentemente maior resistência a compressão.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O traço pobre não foi possível realizar os ensaios no seu estado fresco nem a moldagem dos corpos de prova, pois o mesmo passou dos limites de capacidade de acerto da sua segregação e exsudação por substituição de finos, não tendo mais matérias disponíveis para execução de um novo concreto, desta forma foram realizados apenas os ensaios e procedimentos referente a análise do traço rico e intermediário conforme dosagem proposta por Tutikian (2007).

Os ensaios realizados de autoadensilabilidade do traço rico e intermediário do concreto em seu estado fresco foram todos satisfatórios e se enquadraram dentro dos parâmetros citados por diversos autores, como Efnarc (2002) e Coppola (2001), assim como do próprio método utilizado de Tutikian (2007).

Para o ensaio de densidade no estado fresco, o concreto dosado com traço intermediário apresentou valores inferiores ao traço rico. Este comportamento pode ser explicado devido ao maior consumo de finos neste segundo CAA, consequentemente um menor volume de vazios presente no concreto.

Com 24 horas após a moldagem do CAA obteve uma resistência mais satisfatória do traço intermediário de 53,45 MPa, resistência superelevada para 24 horas de cura, tornando-se um resultado satisfatório para utilização do concreto em pré-moldados em geral, obras protendidas e demais situações que necessitem de desforma rápida após a concretagem.

O traço rico com 24 horas teve resistência de 43,55 MPa, resistência não esperada pelo fato do rompimento anterior do traço intermediário ter o resultado de 53 MPa, analisando o ensaio realizado do traço rico, foi mais demorado o acerto por substituição dos finos do traço, ocasionando um tempo de mistura maior e um consumo maior de água por a manutenção necessária ser maior. A resistência obtida com 7 dias do traço rico e intermediário foram respectivamente de 53,55 MPa e 78,1MPa teve um crescimento linear comparando os dois traços, porem a resistência com a idade de 7 dias usando uma relação água cimento baixa como ficou nos traços, por base a um consultor técnico da fábrica de cimentos Itambé, mencionou que a resistência atingiu neste período em média 90% de sua resistência total.

Para análise dos concretos submetidos ao rompimento aos 28 dias, se observou que o acréscimo de resistência do concreto com traço intermediário obteve maiores proporções

quando comparados com o traço rico, atingindo uma resistência de 92,15 Mpa, enquanto que o traço rico obteve a resistência a compressão de 59,65 Mpa.

A resistência a compressão desejada de 100 MPa não foi alcançada em ambos os traços realizados. Devido a esse fato uma nova pesquisa desenvolvia com os dados obtidos nos traços executados no projeto, foi observado que a relação água/cimento (A/C) que ficou em 0,28, segundo Neville (1997) para que o concreto seja considerado auto adensável com elevada resistência mecânica deva atingir aproximadamente 0,35. Além disso, através do método utilizado, seria possível a elaboração de um digrama de dosagem e desempenho e através deste chegar a uma composição que gerasse os 100 Mpa, porém como não foi possível a mistura do traço pobre, também não foi possível a formação de tal diagrama. Tendo em vista tais considerações, seria possível, utilizando a curva de dosagem elaborada através dos traços propostos, alcançar os 100 MPa em um CAA através do método de Tutikian.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos nesta pesquisa, se apresenta possibilidades de linhas de estudos futuros para alguns parâmetros apresentados no decorrer do desenvolvimento da pesquisa para sua complementação, como:

- o desenvolvimento do traço pobre para análise de sua resistência mecânica;
- acréscimo da relação água/cimento para análise de obtenção de maior resistência;
- utilização de adições minerais que possam condicionar maior resistência mecânica;
- utilizar outro método de dosagem para que se torne possível um comparativo com os resultados obtidos pelo método de Tutikian.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

_____.ABNT. **EB 1763**: Aditivos para concreto *portland*. Rio de Janeiro, 1992.

_____.ABNT. **EB-1763**: Aditivos para concreto de cimento *Portland*. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

_____.ABNT. **EB-2**: Cimento *Portland* de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____.ABNT. **NBR 15823-1**: Concreto auto adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

_____.ABNT. **NBR 1583-2**: Concreto auto adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método de cone de abrams. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 4 p.

_____.ABNT. **NBR 1583-4**: Concreto auto adensável Parte 4: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 4 p.

_____.ABNT. **NBR 1583-5**: Concreto autoadensável Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

_____.ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221 p.

_____.ABNT. **NBR NM 23**: Cimento *Portland* e outros materiais em pó - Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001. 5 p.

_____.ABNT. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____.ABNT. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1 ed. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

BASTOS, Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos. **HISTÓRICO E PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO**. 2006. 16 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2006.

DAVID ANDRE FIRMAN (Paraná). **Aditivo Superplastificante**. 2016. Disponível em: <<http://dafquimica.com.br/>>. Acesso em: 22 maio 2017.

FRANCZAK, Cibele Cristine Mello; PREVEDELLO, Felipe ZahdiRaffo. **Estudo comparativo entre dois tipos de aditivos para um mesmo traço em concreto auto adensável**. 2012. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Concreto, Coordenação do

Curso de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. D. Métodos de dosagem de concreto auto adensável. São Paulo: Pini, 2009.

HARTMANN, Carine T.; HELENE, Paulo. **Concretos de alta resistência**. 2003. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

HOLSCHEMASHER, K.; KLUG, Y. A data base for the evaluation of hardened properties of SCC. **LACER**, n.7, 123-134, 2002.

Inês LARANJEIRA DA SILVA BATAGIN (Minas Gerais) (Org.). **2 FÓRUM MINEIRO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**: Belo Horizonte: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT, 2012. 73 slides, color, 15x15.

MARTINS, PatriciaMocelin. **Concreto com adição de borracha, sucatas de pneus - uma abordagem do módulo de elasticidade**. 2013. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Materiais de Construção, Coordenação de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

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

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SANTOS, Altair. **Presente e futuro do concreto**. 2013. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br>> Acesso em: 20 abr. 2017.

TUTIKIAN, B. F. **Preposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensável**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Auto Adensável**. São Paulo: Pini, 2008.