



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**



ENGENHARIA CIVIL
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

ANÁLISE DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL USANDO AGREGADO GRAÚDO E MIÚDO EXISTENTES NA REGIÃO DE CASCAVEL-PR

SIGNORINI, Emerson¹

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: Devido ao crescimento do número de obras em concreto armado, surgiram também inovações no sistema de concretagem, sendo indispensável a utilização de concretos especiais com mais fluidez e capacidade de preenchimento das fôrmas. Para alcançar uma melhor trabalhabilidade do concreto, é necessária a utilização do aditivo superplastificante e adições de minerais com granulometria mais fina em relação ao concreto convencional. Dessa forma, este trabalho desenvolveu um concreto autoadensável com materiais regionais em sua composição, a partir do método proposto por Tutikian (2004). Após revisão bibliográfica sobre o tema, foram realizados ensaios a fim de verificar a autoadensabilidade do concreto. Os ensaios de fluidez e de viscosidade apresentaram classe de espalhamento SF entre 580 e 660 mm e um T500 entre 2 e 2,2 segundos. Já a classe de habilidade passante apresentou resultados de HP entre 0,81 a 0,90. No que se refere ao ensaio de viscosidade, este apresentou VF entre 5 e 6 segundos e os ensaios na coluna de segregação demonstraram uma segregação SR entre 8,85 e 15,67%. Com base nesses resultados, observou-se que todos atenderam às especificações de norma. Buscou-se também avaliar a resistência à compressão a partir dos três traços ensaiados, sendo que, aos 28 dias, o concreto apresentou resistências de 29,76, 44,56 e 56,83 MPa. De um modo geral, o estudo realizado revela que o concreto dosado com materiais regionais apresentou as características de concreto autoadensável tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, podendo ser utilizado como parâmetro inicial para produção do concreto autoadensável.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto autoadensável. Dosagem. Agregado.

1. INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável vem sendo cada dia mais estudado e utilizado em obras no Brasil nos últimos anos. Seu diferencial é o fato de ser produzido com grande quantidade de agregados finos em relação aos agregados graúdos.

Apesar de o concreto ser um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, atualmente não se pode mais considerar apenas o estudo de concretos convencionais. Com as

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. e-mail: esignori1@hotmail.com.

²Docente, Mestre, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.

inovações tecnológicas e obras mais complexas, o setor da construção civil exige concretos que apresentem características especiais, como os concretos de alta resistência, de alto desempenho, autoadensáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, sustentáveis, entre outros (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

De acordo com Gomes e Barros (2009), a obtenção do concreto autoadensável não é uma tarefa simples, levando em conta a grande variabilidade nas características dos materiais constituintes, sejam estes naturais ou industrializados. Além disso, o controle de qualidade dos materiais componentes e, também, da mistura do concreto autoadensável deve ser rigoroso. O recomendável é que a dosagem obtida em laboratório seja testada em grande escala, com equipamentos e funcionários da obra ou da fábrica produtora de concreto. Esses fatos tornam difícil a utilização de um método de dosagem-padrão para o alcance de uma mistura de concreto autoadensável.

Um dos sistemas construtivos em concreto armado que vem crescendo significativamente é o sistema construtivo denominado “Parede de concreto”, que é normalizado pela NBR 16055 (ABNT, 2012) – Parede de concreto moldada no local para construção de edifícios – requisitos e procedimentos, onde são especificadas as propriedades dos materiais utilizados. Essa norma tem aplicação a edifícios com paredes moldadas *in loco* com fôrmas removíveis. Para moldagem dessas paredes, o principal concreto empregado é o concreto autoadensável (IBRACON, 2017).

Nesse sentido, a realização deste trabalho acadêmico se justifica em uma relevância técnica, já que existem poucas iniciativas no que se refere ao uso do concreto autoadensável na região de Cascavel-PR, quando comparados com o uso do concreto convencional, ocasionando falta de métodos experimentais de dosagem que permitam a determinação da proporção exata dos materiais de forma econômica e racional.

Ainda, deve ser levado em consideração que, com o concreto autoadensável, obtêm-se elementos mais densos e sem falhas de concretagem, reduzindo a ocorrência de patologias, além de evitar gastos futuros com manutenção.

Portanto, a pergunta a ser respondida com este estudo será a seguinte: com um aumento significativo nas obras de parede de concreto moldadas no local na região e a necessidade do uso de um concreto autoadensável, é possível dosar um concreto com fluidez e capacidade de preenchimento que atenda aos requisitos da NBR 15823-1 (ABNT, 2010), usando agregado graúdo e miúdo existentes na região de Cascavel – PR?

Este estudo estará limitado à análise do concreto autoadensável no estado fresco e endurecido de maneira a alcançar as suas principais propriedades, como fluidez, habilidade passante, coesão, resistência à segregação e resistência à compressão, por meio de ensaios de laboratório. Neste estudo experimental, não serão adicionados materiais pozolânicos, como materiais finos, nem fibras que ajudam no controle da retração, que geralmente são utilizados em concretos autoadensáveis, apenas a adição de areia fina e de aditivo superplastificante.

Em vista disso, o objetivo geral deste trabalho é analisar a dosagem de concreto autoadensável usando agregado graúdo e miúdo existentes na região de Cascavel – PR, para obras de parede de concreto armado moldadas no local, considerando as especificações da NBR 15823 (ABNT, 2010).

A fim de alcançar o objetivo geral dessa pesquisa, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a fluidez e habilidade passante do concreto;
- Determinar a viscosidade do concreto;
- Determinar a resistência à segregação no estado fresco;
- Avaliar o comportamento no estado endurecido de corpos de prova de concreto autoadensável, por meio de ensaios de resistência à compressão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Segundo a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), um concreto será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas: a fluidez e escoamento; habilidade passante; e resistência à segregação.

Fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do concreto autoadensável de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços. Habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura de escoar pela fôrma, passando por entre armaduras de aço sem obstrução do fluxo ou segregação. E resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do concreto autoadensável de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não por obstáculos (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Embora o concreto fresco tenha interesse apenas transitório, Neville (1997) ressalta que a resistência de um concreto com determinadas proporções é seriamente influenciada pelo

grau de adensamento. Portanto, é essencial que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade e sem segregação.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), a habilidade do concreto fresco de preencher as fôrmas sem presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem (ninhos) é um dos principais fatores que influenciam a qualidade final do concreto endurecido. O concreto autoadensável não pode depender de nenhum tipo de ajuda externa para cumprir seu papel. O uso de vibradores de imersão, régua vibratórias ou qualquer outra forma de compactação é estritamente proibido em um concreto autoadensável. A única ferramenta disponível para esse concreto é seu peso próprio, ou seja, a ação da força da gravidade.

2.1.1 Desenvolvimento do concreto autoadensável

O concreto autoadensável, inicialmente desenvolvido no Japão, pelo Professor Hajime Okamura, na década de 1980, surgiu da necessidade de se obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução. A concepção de estruturas duráveis exigia compactação adequada por mão de obra especializada, contudo, a redução gradual no número desse tipo de funcionário na indústria da construção japonesa acarretou diminuição na qualidade dos serviços. A falta desses operários não foi a única causa de problemas de durabilidade. A baixa trabalhabilidade dos concretos também dificultava seu adensamento em elementos estruturais com fôrmas complexas e com altas taxas de armadura (GOMES e BARROS, 2009 *apud* BILLBERG, 1999).

2.2 MATERIAIS

A seleção dos componentes da mistura geralmente se baseia nas propriedades desejadas do concreto, levando em consideração a disponibilidade de materiais no mercado local, a fim de manter a competitividade do concreto. De acordo com Gomes e Barros (2009), a obtenção do fator custo nunca pode ser desprezada, principalmente quando se trata de uma nova tecnologia, em que o custo é um fator determinante e muito questionado no momento de aplicação. Quando existe a disponibilidade de diferentes materiais e marcas no local, com desempenho satisfatório, tem de prevalecer como prioridade a seleção de materiais já utilizados e conhecidos de trabalhos anteriores, além de considerar as propriedades que beneficiem a obtenção do concreto desejado.

Como pelo menos $\frac{3}{4}$ do volume do concreto são compostos pelos agregados, sua qualidade é de grande importância. Nesse ínterim, os agregados são mais baratos do que o cimento, sendo econômico utilizá-los na maior quantidade possível, diminuindo, assim, a quantidade de cimento. Segundo Neville (2016), a alternativa empregada para produção de concretos de boa qualidade é a obtenção de agregados separados em pelo menos dois grupos de dimensões. A separação principal é a definida entre os agregados miúdos, geralmente areia, com dimensão inferior a 4 mm, e os agregados graúdos, que compreendem o material com dimensão mínima de 5 mm.

2.2.1 Cimento

De acordo com Tutikian (2004), dependendo das características que se pretende alcançar, deve ser escolhido o tipo de cimento entre os diversos existentes comercialmente na região do estudo. Cada tipo de cimento pode ter vantagens e desvantagens, entretanto, o importante é que se conheça as variações e as peculiaridades de cada local de uso.

2.2.2 Agregados

De acordo com Araújo (2003), qualquer agregado graúdo que serve para o concreto convencional pode ser usado no concreto autoadensável. No entanto, sua dimensão máxima deve ser limitada - usualmente 16-20 mm -, devendo ser menor segundo a aplicação desejada. Por exemplo, na concretagem de peças finas com elevada densidade de armadura, é conveniente se reduzir esse valor para 10 mm.

2.2.3 Aditivos químicos

Segundo Ferraz (2009), a presença de plastificantes ou superplastificantes atende às exigências dos concretos com alta trabalhabilidade ou autoadensamento, sem que ocorra elevação da relação água/cimento. O concreto autoadensável é capaz de preencher perfeitamente a fôrma, aproveitando sua energia potencial, proporcionada por seu peso próprio, eliminando assim a dependência de operários para vibração mecânica. Sua característica fundamental é a capacidade para se introduzir em situações antes complexas, com redução do custo energético em compactação e ruído.

2.2.4 Adições minerais

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), entre as inúmeras adições minerais que podem ser utilizadas está o fíler, que é uma adição mineral fina e sem atividade química, ou seja, sua ação se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. A incorporação dos fílers deve ser feita pela substituição do agregado miúdo, já que apresenta maior finura, o que melhora as condições da coesão da mistura.

Os fílers podem ser materiais naturais ou materiais inorgânicos processados. Calcário e areia fina têm sido os mais tradicionais fílers usados para produção de CAA. O papel principal das adições é a retenção de água, dando coesão ao concreto autoadensável.

2.2.5 Água

Impurezas na água usada na mistura de concreto, quando excessivas, podem não apenas afetar a resistência do concreto e o tempo de pega, mas também gerar eflorescência (depósitos de sais brancos na superfície do concreto) e causar a corrosão da armadura. Em geral, a água de amassamento raramente é um fator relevante na resistência do concreto, porque muitas especificações para produzir a mistura exigem que a qualidade da água seja a mesma da água de beber (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.3 PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO

2.3.1 Fluidez e trabalhabilidade do concreto

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do concreto autoadensável de fluir dentro da fôrma e de preencher todos os espaços apenas com seu peso próprio, sem que seja realizado nenhum tipo de adensamento ou interferência em seu fluxo.

A trabalhabilidade do concreto autoadensável no estado fresco é essencial para sua correta aplicação, pois, como o adensamento desse concreto não pode ser feito com equipamentos, correções no local não serão possíveis. Devido a isso, foram desenvolvidos equipamentos para medir a trabalhabilidade do concreto autoadensável no estado fresco.

A avaliação da trabalhabilidade de um concreto autoadensável, dentro de um tempo disponível para as operações de transporte, lançamento e adensamento, deve ser feita com base nas condições e no tempo previstos para execução. Neville (1997) orienta que, no caso da mistura em caminhão betoneira, a água só deverá ser adicionada quando se inicia o processo de mistura, sendo que, de acordo com a norma ASTM C94-C94M (2015), o tempo limitado para a mistura é de 90 (noventa) minutos.

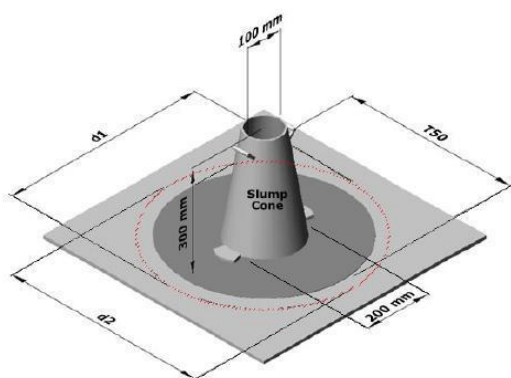
Para dosar e trabalhar corretamente o concreto autoadensável, deve-se entender algumas características que o tornam diferente dos concretos convencionais. Uma delas é que esse material é extremamente fluido, mas, ao mesmo tempo, deve ser capaz de carregar grandes partículas de agregado graúdo em todo o trajeto. Ou seja, é um concreto que deve ser fluido e viscoso ao mesmo tempo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.3.2 Ensaio de espalhamento do concreto autoadensável

Segundo a NBR 15823-2 (ABNT, 2010), para se executar o ensaio de espalhamento, são necessários os seguintes equipamentos: Cone de Abrams (molde), conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998), fabricado em chapa metálica de 1,5 mm de espessura, e suas dimensões conforme a Figura 1. Para apoio do molde, deve ser utilizada uma chapa metálica quadrada de pelo menos 900 mm de lado, também com espessura de 1,5 mm. Essa chapa deve ser provida de três marcações circulares centradas, conforme Figura 1.

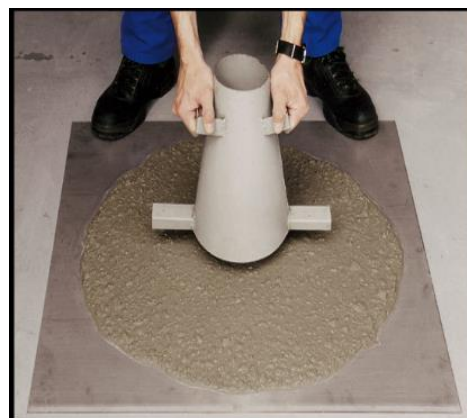
A amostra para realização do ensaio deve ser de acordo com o especificado pela ABNT NBR NM 33 (ABNT, 1998), conforme representado na Figura 2.

Figura 1 – Equipamentos do ensaio de espalhamento.



Fonte: NBR 15823-2 (ABNT, 2010).

Figura 2: Ensaio de espalhamento



Fonte: Dnrmix controle tecnológico (2016).

A classificação do ensaio de espalhamento está estabelecida na Tabela 1 e de viscosidade plástica aparente na Tabela 2.

Tabela 1: Classe de espalhamento (*slump-flow*) e sua aplicação.

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 A 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto, com deslocamento livre. Estruturas que requerem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto autoadensável	Lajes, estacas e certas fundações profundas
SF 2	660 A 750	Adequada para maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 A 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Pilares-diafragma Pilares

Fonte: NBR 15823-2 (ABNT, 2010).

Tabela 2: Classe de viscosidade plástica aparente e sua aplicação.

Classe de viscosidade plástica aparente	T 500 (s)	Aplicação	Exemplo
VS 1	≤ 2	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente.
VS 1	> 2	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeitos tixotrópicos que acarretam menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos em relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras.

Fonte: NBR 15823-2 (ABNT, 2010).

2.3.3 Ensaio da caixa L

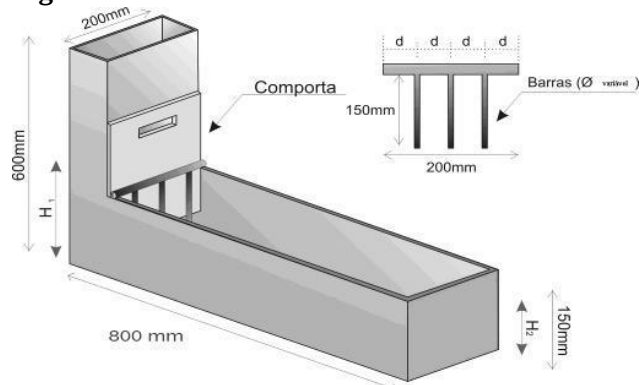
O ensaio com caixa L tem como finalidade avaliar a capacidade de passagem do concreto autoadensável. O objetivo é verificar se o concreto consegue passar por obstáculos, como armadura, sem que ocorra bloqueio.

De acordo com a NBR 15823-4 (ABNT, 2010), para execução do ensaio é necessária uma caixa de seção retangular com perfil em forma de L, constituída por um compartimento vertical e outro horizontal. A caixa deve ser fabricada preferencialmente em chapa metálica com espessura mínima de 1,5 mm e deve apresentar superfícies planas e não deformar durante o ensaio. A caixa também deve ser provida de dispositivos em forma de grade que podem conter duas ou três barras metálicas lisas com diâmetro de $(12,5 \pm 0,2)$ mm. Quando forem

utilizadas duas barras, o espaçamento deve ser de (58 ± 1) mm, caso sejam três barras, o espaçamento deve ser de (40 ± 1) mm. O dispositivo deve ser posicionado verticalmente na caixa L. A amostra para realização do ensaio deve ser de acordo com o especificado pela NBR NM 33 (ABNT, 1998). As Figuras 3 e 4 mostram como é medido o ensaio da caixa L.

A classificação do ensaio de habilidade passante pela caixa L está estabelecida na Tabela 3.

Figura 3: Caixa em forma de L.



Fonte: UTFPR (2011).

Figura 4: Ensaio na caixa L.



Fonte: Unicamp (2016).

Tabela 3: Classe de habilidade passante caixa L e sua aplicação.

Classe	Caixa L (H_2/H_1)	Aplicação	Exemplo
PL 1	≥ 80 , com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes, painéis, elementos de fundação.
PL 2	≥ 80 , com três barras de aço	Adequada para maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	Vigas, pilares, indústrias de pré-moldados.

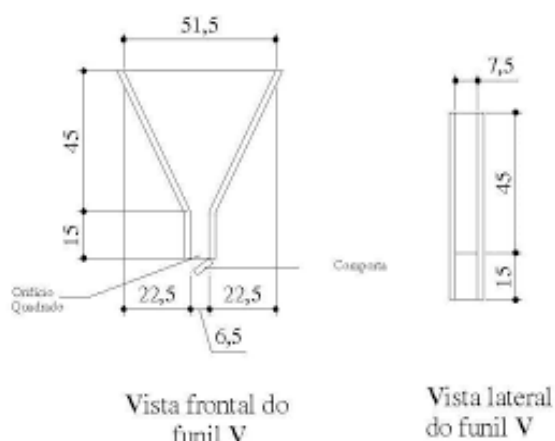
Fonte: NBR 15823-1, (ABNT, 2010).

2.3.4 Ensaio de funil V

De acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2010), para a execução do ensaio são necessários os seguintes equipamentos: funil V, que deve ser confeccionado em chapa acrílica de 5 mm ou chapa metálica de, pelo menos, 1,5 mm de espessura em forma de funil de bases retangulares, conforme Figura 5.

A amostra para realização do ensaio deve ser de acordo com o especificado pela NBR NM 33 (ABNT, 1998). Na Figura 6, é ilustrado um ensaio no funil V sendo realizado.

A classificação do ensaio de viscosidade está estabelecida na Tabela 4.

Figura 5: Funil em forma de V.

Fonte: Fenato (2007).

Figura 6: Ensaio no funil V.

Fonte: Coutinho (2011).

Tabela 4: Classe de viscosidade do funil V e sua aplicação.

Classe de viscosidade plástica aparente	Funil V (s)	Aplicação	Exemplo
VF 1	< 8	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados, concreto aparente.
VF 2	9 a 25	Adequada para maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta melhor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outros.

Fonte: NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

2.3.5 Resistência à segregação

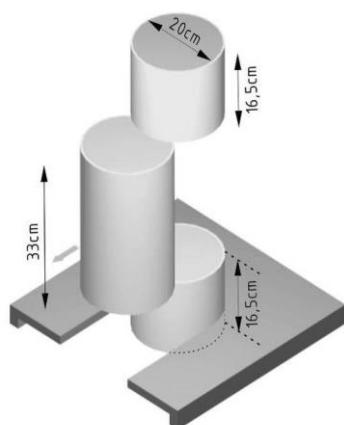
O ensaio de resistência à segregação tem como finalidade avaliar a segregação do concreto autoadensável pela diferença de massas de agregado gráúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.

Segundo a NBR 15823-6 (ABNT, 2010), a coluna de segregação constitui-se de um tubo de pvc, de diâmetro nominal de 200 mm e 660 mm de altura total, seccionado em três partes. O topo e a base devem ter altura de 165 mm, e a parte central do tubo deve ter altura de 330 mm. Essas seções são unidas por grampos, presilhas de fixação ou fita adesiva, conforme Figura 7.

A amostra para realização do ensaio deve ser de acordo com o especificado pela NBR NM 33 (ABNT, 1998). Na Figura 8, é mostrado um ensaio da coluna de segregação sendo realizado.

A classificação do ensaio na coluna de segregação está estabelecida na Tabela 5.

Figura 7: Coluna de segregação



Fonte: Calado (2007).

Figura 8: Ensaio na coluna de segregação



Fonte: Ibracon (2017).

Tabela 5: Coluna de segregação e sua aplicação.

Classe de resistência à segregação	Porcentagem de segregação (%)	Distância a ser percorrida (m)	Espaçamento entre armaduras (mm)	Exemplos
SR 1	< 20	< 5	> 80	Lages de pequena espessura; estruturas convencionais de pouca complexidade.
SR 2	< 15	> 5	> 80	Elementos de fundações profundas;
		< 5	< 80	Pilares, paredes e elementos estruturais complexos; elementos pré-moldados.

Fonte: NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Trata-se de um estudo experimental de dosagem de concreto autoadensável usando areia e brita existentes na região de Cascavel-PR, através de ensaios de laboratório que foram realizados no Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, onde foram analisadas as propriedades no estado fresco e endurecido.

3.2 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para produção do concreto autoadensável foram materiais disponíveis na região de Cascavel-PR, encontrados com facilidade em depósitos de materiais de construção, por exemplo. O cimento Portland escolhido será o CP V ARI RS, pois seu uso é indicado para obras que necessitam alta resistência inicial, permitindo a desforma em um tempo menor. Para o agregado miúdo, foi utilizada a areia natural com dois módulos de finura. O agregado graúdo empregado será a brita com diâmetro máximo de 12,5 mm. O aditivo superplastificante empregado para se obter os requisitos de aceitação do concreto autoadensável no estado fresco, de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2010), é a base de policarboxilato, já que é o tipo de superplastificante mais utilizado no mercado.

3.3 COLETA DOS MATERIAIS

A coleta foi realizada em um depósito de materiais de construção localizado na cidade de Cascavel-PR, onde estes foram armazenados de forma correta para que não houvesse contaminação.

3.4 DOSAGEM DO CONCRETO

Para a dosagem do concreto, foi utilizado o método experimental proposto por Tutikian (2004), e para alcançar o objetivo final, foram seguidos os passos:

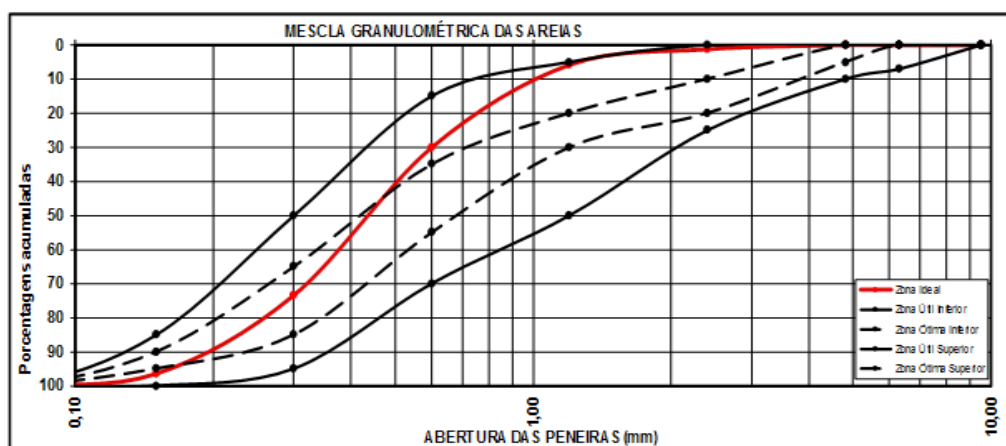
- Escolha dos materiais de acordo com a disponibilidade na região e que têm condições de compor o concreto autoadensável;
- Determinação experimental do teor de argamassa, sem aditivos e com adição de finos;
- Determinação de, pelo menos, três traços: no caso deste ensaio um traço rico com 540 kg de cimento por m³, um traço intermediário com 370 kg de cimento por m³ e um traço pobre com 277 kg de cimento por m³;
- Colocação do aditivo superplastificante e consequente segregação; recomenda-se que se comece com pequenas quantidades na ordem de 0,30% da massa de cimento e vá aumentando até chegar no ponto ideal;
- Ensaios de trabalhabilidade até o concreto convencional virar concreto autoadensável;
- Ensaios de resistência à compressão nas idades determinadas.

Em seguida foram moldados os corpos de prova para a ruptura à compressão, situação em que foram rompidos com idades de 16 horas, 7 e 28 dias, sendo moldados 3 corpos de prova para cada idade estabelecida. Os corpos de prova terão 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e devem ser moldados sem compactação interna, apenas com o concreto fluindo dentro da fôrma.

Para este ensaio, foram utilizadas duas areias, sendo areia média com módulo de finura de 2,58 e areia fina com modulo de finura de 1,56. Por meio do ensaio de granulometria foi possível observar que a melhor proporção de mistura foi de 50% de cada uma das areias.

A Figura 9 apresenta a curva granulométrica com a mescla entre as duas areias.

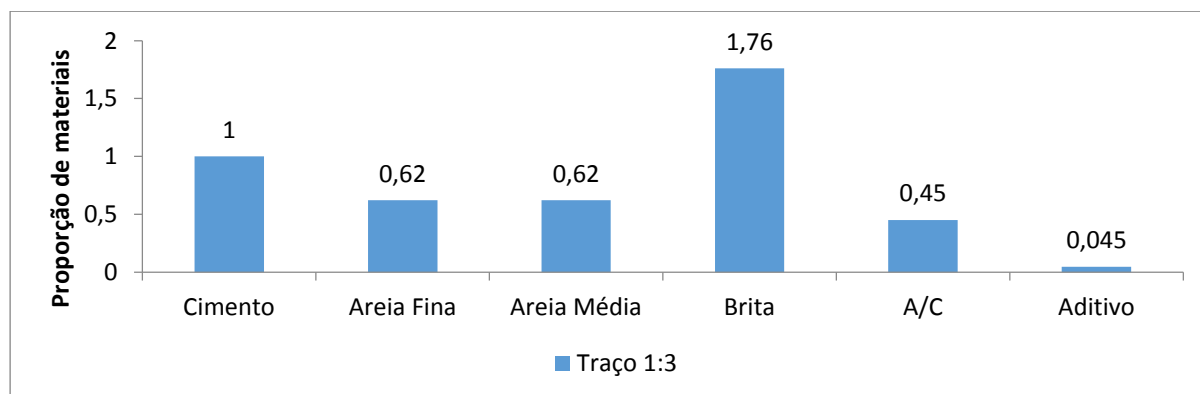
Figura 9: Curva granulométrica das areias



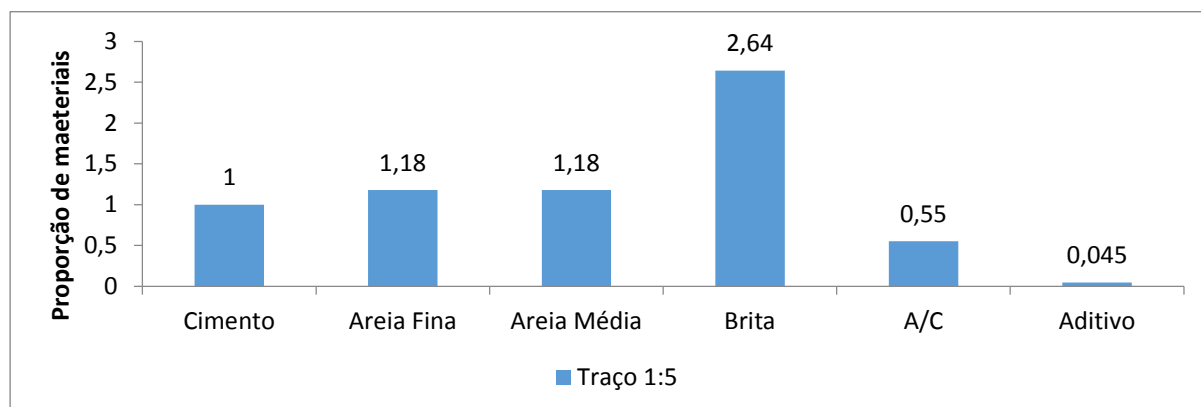
Fonte: Autor (2021)

Na sequência, foi determinado o teor de argamassa, sendo que para o ensaio experimental foi utilizado um teor de argamassa de 56 %. Nas Figuras 10, 11 e 12 estão relacionadas as quantidades de materiais utilizadas para cada traço ensaiado.

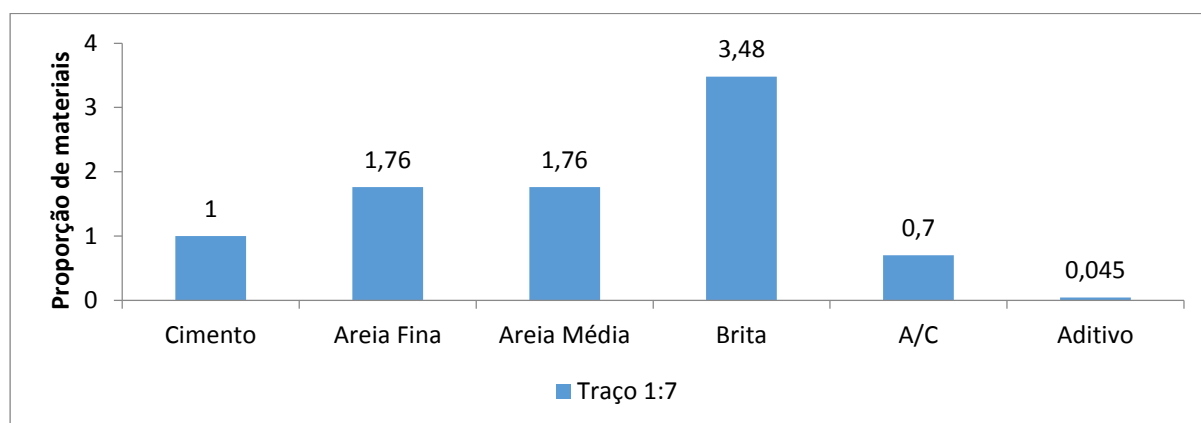
Figura 10: Proporção de material utilizado no traço rico



Fonte: Autor (2021)

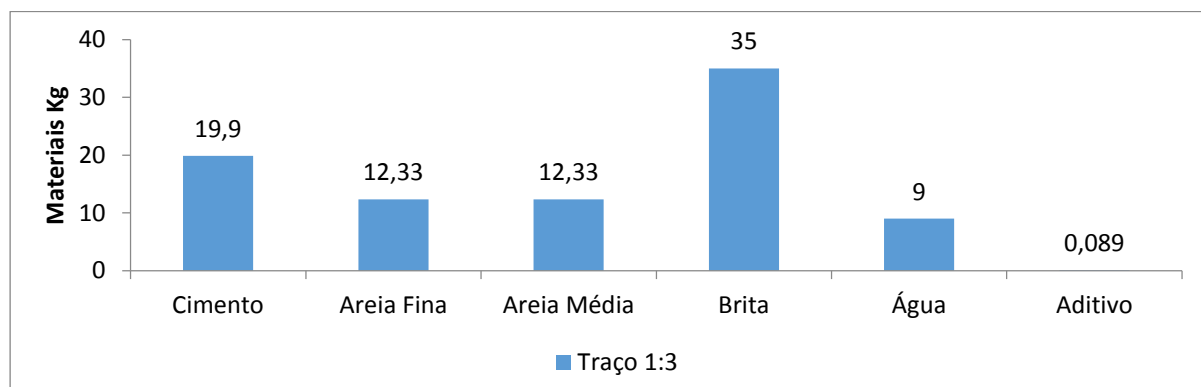
Figura 11: Proporção de material utilizado no traço intermediário

Fonte: Autor (2021)

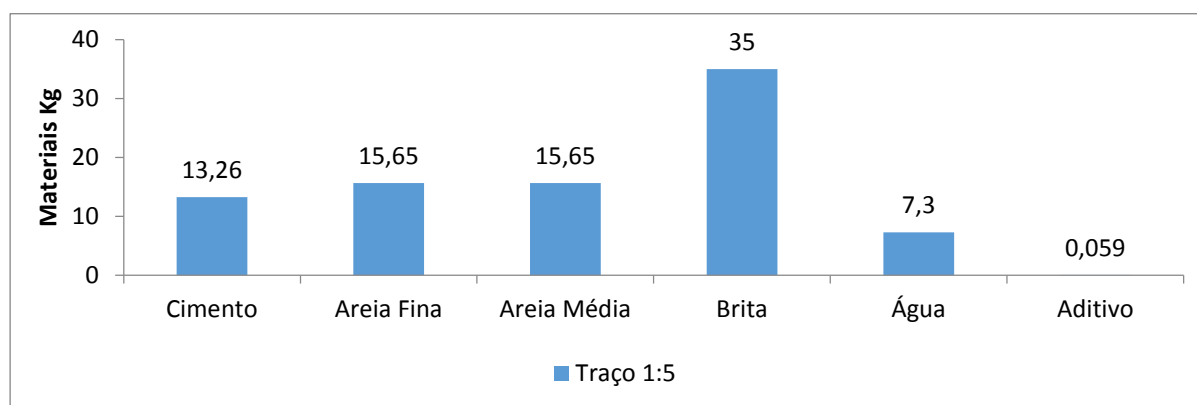
Figura 12: Proporção de material utilizado no traço pobre

Fonte: Autor (2021)

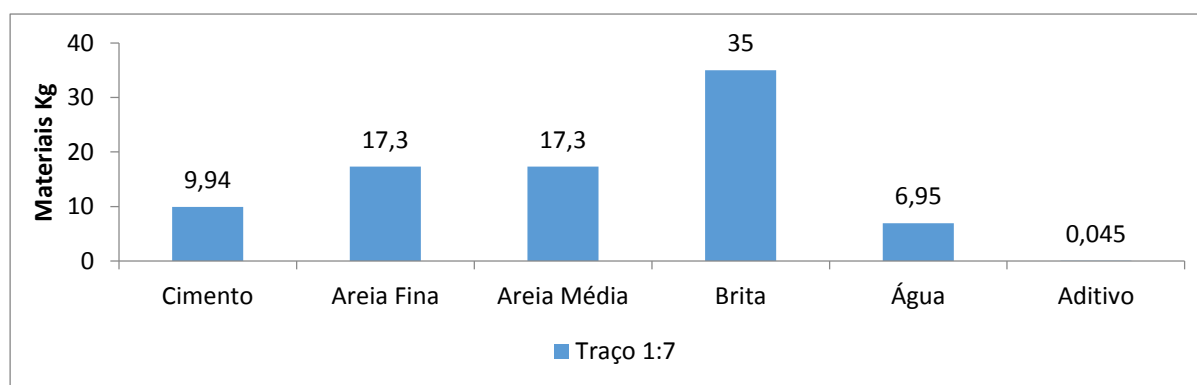
O próximo passo foi realizar a separação e a pesagem dos materiais, sendo em média 87 kg de material para cada traço. As Figuras 13, 14 e 15 apresentam a quantidade de material utilizado em cada ensaio realizado.

Figura 13: Quantidade de material utilizado no traço rico

Fonte: Autor (2021)

Figura 14: Quantidade de material utilizado no traço intermediário

Fonte: Autor (2021)

Figura 15: Quantidade de material utilizado no traço pobre

Fonte: Autor (2021)

3.5 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Durante a execução da dosagem do concreto foram realizados ensaios para avaliar as propriedades do concreto autoadensável no estado fresco, e detalhados os procedimentos para a realização dos ensaios.

3.5.1 Espalhamento e T500

A determinação da fluidez do concreto autoadensável será obtida através do ensaio de espalhamento (*slump-flow*) conforme NBR 15823-2 (ABNT, 2010), que estabelece o intervalo de tempo do escoamento do concreto da marca circular de 200 mm até a marca circular de 500 mm do molde. O procedimento do ensaio deve seguir as seguintes etapas: inicialmente será preenchido o molde (cone de Abrams) sem adensar, de forma contínua e uniforme, que deve ser fixado através de suas aletas pelos pés do operador. Após finalizar o

preenchimento, deve se levantar o molde pelas alças, na direção vertical com velocidade constante e uniforme, em tempo não superior a 5 (cinco) segundos, sem que haja movimentação lateral. Todo processo de preenchimento até a desmoldagem deve ser efetuado em tempo não superior a 1 (um) minuto. No momento da desmoldagem, imediatamente após o molde perder o contato com a placa base, o cronômetro deve ser acionado. Quando o concreto atinge a marca circular feita na placa com diâmetro de 500 mm, o cronômetro é parado e o tempo, registrado. Esse tempo é denominado de tempo de fluxo T500. Quando cessar o espalhamento do concreto, medem-se, com uma régua, dois diâmetros perpendiculares (d_1 e d_2) e calcula-se a média, que é denominada de diâmetro final de espalhamento.

A Figura 16 apresenta o espalhamento do concreto com 0,30% de aditivo superplastificante com o um espalhamento ainda não ideal. Já na Figura 17, o espalhamento do concreto realizado com 0,45 % de aditivo superplastificante.

Figura 16: Concreto com 0,30 % de aditivo



Fonte: Autor (2021)

Figura 17: Concreto com 0,45 % de aditivo



Fonte: Autor (2021)

3.5.2 Caixa L

A determinação da habilidade passante será realizada com a caixa L, conforme NBR 15823-4 (ABNT, 2010) prescreve como preencher uma caixa em forma de L, e o tempo necessário para abertura da comporta; permitindo o escoamento do concreto na parte horizontal da câmara, medindo-se as alturas nas extremidades. O procedimento do ensaio segue as seguintes etapas: a caixa L deve ser nivelada em uma superfície plana, a câmara vertical da caixa L deve ser preenchida totalmente de forma uniforme e sem adensamento. Após 30 a 60 segundos do final do preenchimento da câmara vertical, deve ser efetuada a

abertura da comporta de forma rápida, uniforme e sem interrupção, permitindo o escoamento do concreto para câmara horizontal. Quando o concreto cessar o movimento, será medida sua altura final do trecho horizontal (H2) e a altura do concreto do trecho vertical (H1) da caixa L. Com esses resultados será calculada a habilidade passante (HP), que é a razão entre as alturas da superfície do concreto nas extremidades da câmara horizontal usando a equação $HP = H2/H1$, sendo que essa relação deve ser $\geq 0,80$. As Figuras 18 e 19 apresentam as medidas de H2 e H1 sendo realizadas já com o concreto na parte horizontal após a abertura da comporta.

Figura 18: Medida sendo realizada na h2



Fonte: Autor (2021)

Figura 19: Medida sendo realizada na h1



Fonte: Autor (2021)

3.5.3 Funil V

A determinação da viscosidade foi realizada através do método do funil V, conforme NBR 15823-5 (ABNT, 2010), para se medir o tempo de escoamento do concreto através de um funil.

Para o procedimento do ensaio, seguem-se as seguintes etapas: o funil deve ser apoiado em uma superfície fixa e plana, e preenchido totalmente de forma uniforme, sem adensamento e interrupções. O recipiente deve ser posicionado na parte inferior do funil para coleta do concreto. A comporta deve ser aberta em um tempo não superior a 30 segundos após o final do seu preenchimento. O cronômetro deve ser acionado simultaneamente à abertura da comporta e cessado quando o concreto estiver escoado. O intervalo de tempo para o escoamento completo da massa do concreto (T30 seg) deve ser registrado. Em casos especiais, poderá ser feita a medida do tempo de escoamento do concreto após 5 (cinco) minutos do preenchimento do funil V (T5 min). Imediatamente após o T30seg, o funil deve

ser novamente preenchido com o concreto coletado. A comporta será aberta 5 (cinco) minutos após o preenchimento, sendo registrado o intervalo de tempo para o escoamento total da massa de concreto. As Figuras 20 e 21 apresentam o ensaio realizado antes e depois da abertura da comporta e do escoamento do concreto.

Figura 20: Funil totalmente preenchido



Fonte: Autor (2021)

Figura 21: Concreto após a abertura da comporta



Fonte: Autor (2021)

3.5.4 Coluna de segregação

A determinação da resistência à segregação foi realizada através do método da coluna de segregação, conforme NBR 15823-6 (ABNT, 2010), onde se preenche uma coluna de concreto com diâmetro de 200 mm, após um determinado intervalo de tempo. Retiram-se as amostras do topo e da base da coluna para verificar o percentual de agregado graúdo existente em cada amostra. O procedimento do ensaio segue as seguintes etapas: após a limpeza e o umedecimento interno da coluna de segregação com água, esta deve ser apoiada em uma superfície rígida e plana, de forma a permitir a colocação do concreto. A coluna deve ser preenchida sem adensamento, de maneira uniforme e sem interrupção, em tempo não superior a 5 (cinco) minutos após sua coleta. Aproximadamente 20 (vinte) minutos após a moldagem, devem ser retiradas porções de concreto do topo e da base da coluna. Esse procedimento deve ser realizado com o auxílio de uma chapa metálica que deve ser colocada entre a união das seções do tubo, para facilitar a extração.

Após a retirada das amostras, cada uma delas foi lavada individualmente sobre uma peneira com abertura de malha de 5 mm, de modo que remova totalmente a argamassa,

limpando os agregados graúdos. Em seguida, os agregados graúdos devem ser submetidos a uma secagem superficial com utilização de pano ou papel absorvente e pesados, obtendo-se as massas da base (mb) e do topo (mt) para cada amostra. A Figura 22 apresenta a coluna preenchida e sendo aguardado o tempo para retirada do concreto, para então efetuar a lavagem e a pesagem dos agregados. Já a Figura 23 apresenta a coluna sendo seccionada em partes para retirada das proporções do concreto. As Figuras 24 e 25 apresentam o concreto com argamassa e o agregado graúdo já lavado sobre a peneira 5 mm.

Figura 22: Coluna preenchida



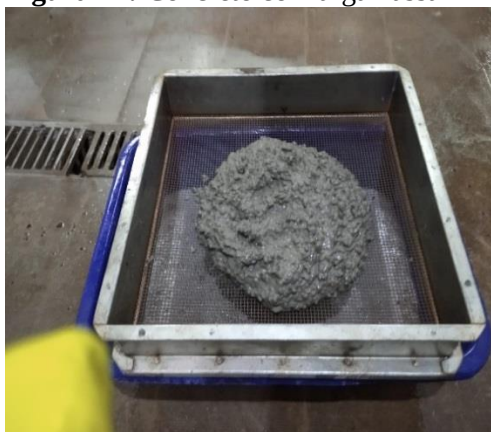
Fonte: Autor (2021)

Figura 23: Coluna sendo seccionada



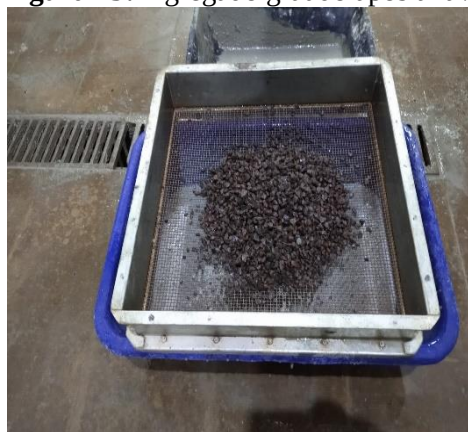
Fonte: Autor (2021)

Figura 24: Concreto com argamassa



Fonte: Autor (2021)

Figura 25: Agregado graúdo após a lavagem



Fonte: Autor (2021)

3.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS NO ESTADO ENDURECIDO

As propriedades mecânicas do concreto estão relacionadas à capacidade de ele resistir a esforços mecânicos sem atingir a ruptura (METHA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Helene e Terzian (1992), a resistência à compressão é a propriedade do concreto geralmente adotada devido ao dimensionamento da estrutura. Além das propriedades no estado fresco, as propriedades mecânicas também devem ser verificadas, a fim de atender a uma resistência à compressão igual ou superior ao valor adotado no projeto. Após a realização de cada ensaio, foram retiradas amostras de cada traço de concreto e realizado o preenchimento dos corpos de prova para ensaios de resistência nas idades prescritas, sendo que no caso do concreto autoadensável, os moldes foram preenchidos de forma contínua e sem adensamento. A Figura 26 mostra os corpos de prova sendo moldados, já na Figura 27, tem-se o concreto sendo rompido no ensaio de resistência à compressão.

Figura 26: Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autor (2021)

Figura 27: Ensaio de resistência à compressão

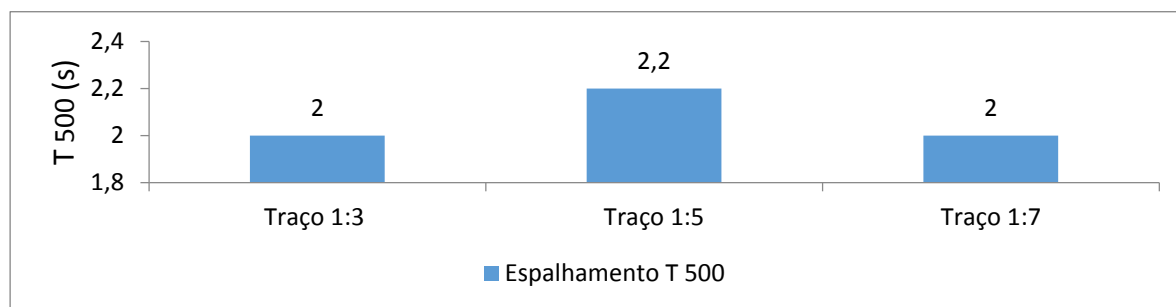


Fonte: Autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de espalhamento (T 500)

O resultado do ensaio de espalhamento T 500 demonstra que o concreto pode ser utilizado na maioria das aplicações e enquadra-se na classe de viscosidade plástica aparente $VS1 > 2$ segundos. A Figura 28 apresenta os tempos que o concreto levou para se espalhar de 200 mm para 500 mm sobre a placa.

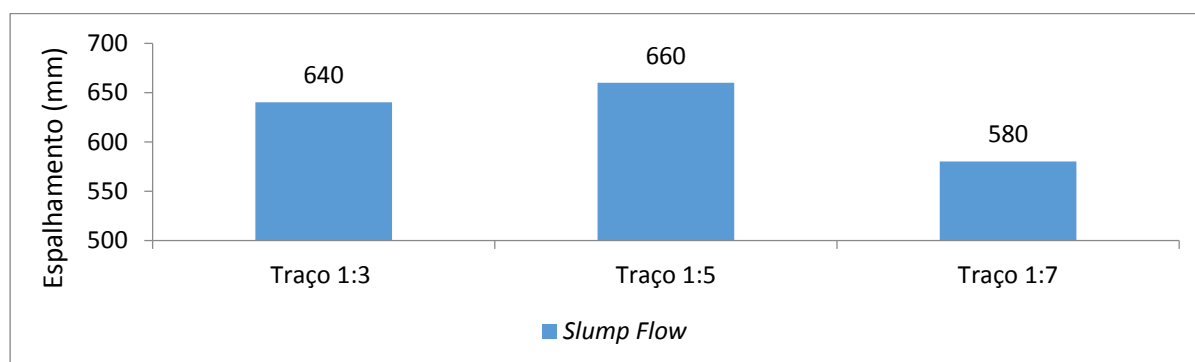
Figura 28: Espalhamento T 500

Fonte: Autor (2021)

Os resultados confirmam que o espalhamento T 500 em que o concreto atinge a marca de 500 mm em um tempo superior a dois segundos é adequado para a maioria das aplicações segundo o que estabelece a NBR 15823-2 (ABNT, 2010), principalmente por exercer menos pressão sobre as fôrmas na hora da concretagem e apresenta melhor resistência à segregação do concreto autoadensável.

4.1.1 Ensaio de espalhamento (*slump-flow*)

O ensaio demonstra que o concreto pode ser utilizado na maioria das aplicações, sendo encontrados valores entre a classe de espalhamento SF1, que vai de 550 a 650 mm, e SF2, que está entre 660 e 750 mm. A Figura 29 apresenta as medidas dos diâmetros em que o concreto se espalhou sobre a placa nos ensaios realizados.

Figura 29: Classe de espalhamento (*slump-flow*)

Fonte: Autor (2021)

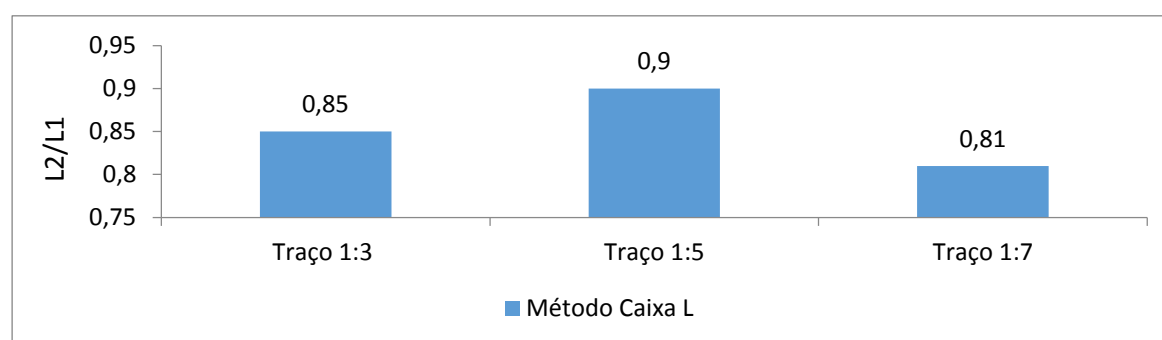
Os resultados comprovam que o traço 1:5 com espalhamento SF2 de 660 mm é adequado para maioria das aplicações e de acordo com a NBR 15823-2 (ABNT, 2010), terá uma maior facilidade de espalhamento. Já os traços com classe de espalhamento SF1 de 580 e

640 mm também podem ser aplicados, mas terão maior dificuldade de espalhamento horizontal do concreto autoadensável

4.1.2 Classe de habilidade passante (caixa L)

Para o ensaio de habilidade passante foi utilizada a caixa L com três barras de aço, e os resultados corroboram que o concreto se enquadra na classe de habilidade passante PL2 > 80 com três barras de aço. A Figura 30 apresenta os valores da relação entre H2/H1, sendo que os três traços estão com valores adequados dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma.

Figura 30: Habilidade passante (caixa L)

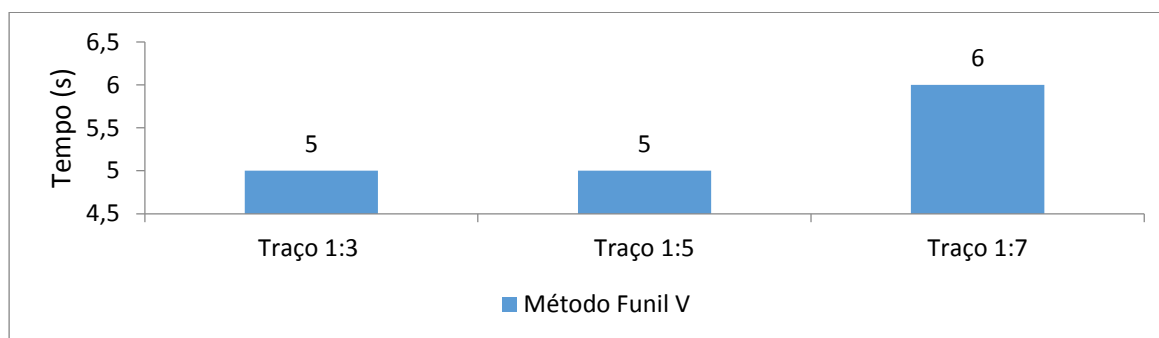


Fonte: Autor (2021)

Os resultados demonstram que o concreto apresentou bom desempenho ao passar por obstáculos sem que houvesse acúmulo do concreto próximo às barras de aço, ratificando que de conforme a NBR 15823-4 (ABNT, 2010), o concreto está adequado para a maioria das aplicações, evitando assim falhas de concretagens que, muitas vezes, deixam a armadura exposta após a desforma.

4.1.3 Classe de viscosidade (funil V)

O ensaio de viscosidade plástica aparente no funil V apresentou VF 1 < 8 segundos para todos os ensaios; com estes valores é possível realizar sua aplicação. A Figura 31 apresenta o tempo que o concreto levou para passar pelo funil V.

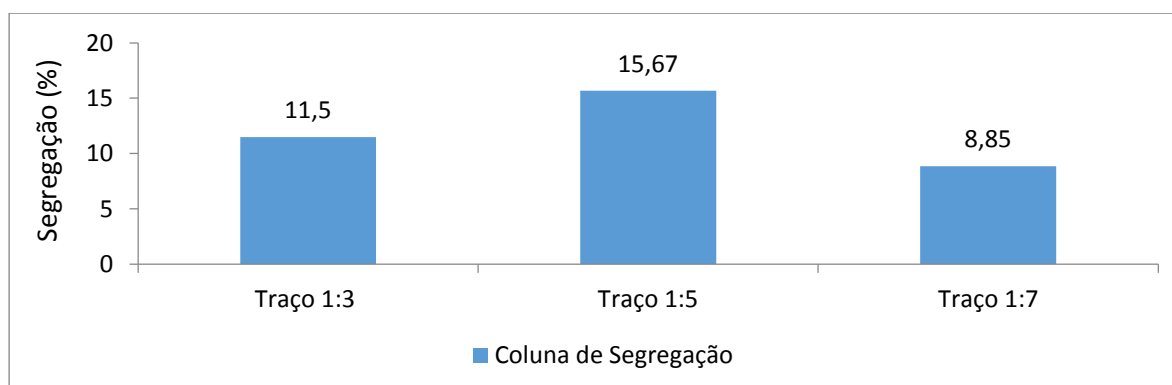
Figura 31: Viscosidade do funil V

Fonte: Autor (2021)

Os resultados demonstram que o concreto apresentou classe de viscosidade $VF1 < 8$ segundos, que de acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2010), é adequado também para elementos com alta taxa de armadura. Ao mesmo tempo deve se ter um cuidado maior com a exsudação e a segregação do concreto.

4.1.4 Resistência à segregação

O ensaio da coluna de segregação apresentou resultado satisfatório para os três traços ensaiados, sendo um traço com classe de resistência à segregação $SR1 < 20\%$ e os outros traços com classe de resistência $SR2 < 15\%$. A Figura 32 apresenta a porcentagem de segregação em cada traço ensaiado.

Figura 32: Porcentagem de segregação

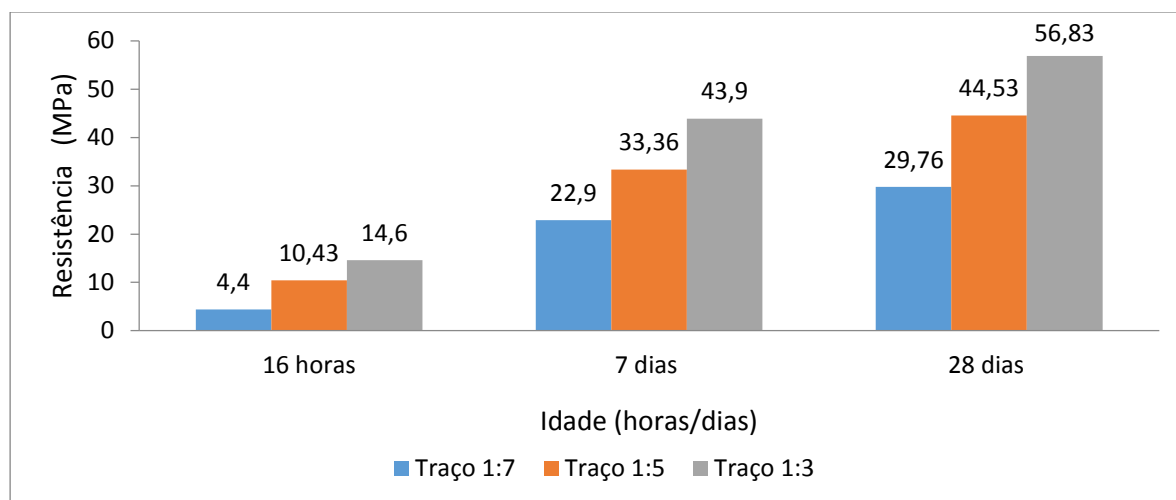
Fonte: Autor (2021)

Os resultados provam que os três traços ficaram com valores de segregação $SR < 20\%$, conforme a NBR 15823-6 (ABNT, 2010), pode ser utilizado na maioria das aplicações. Isso demonstra que o concreto pode ser transportado e aplicado mesmo em distâncias mais longas sem que haja separação dos agregados.

4.1.5 Resistência à compressão

Após o tempo estabelecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão nas idades de 16 horas, 7 e 28 dias, nos quais as amostras apresentaram um bom desempenho do concreto dosado no ensaio experimental. Na Figura 33 estão os resultados obtidos no ensaio de resistência nas idades estabelecidas.

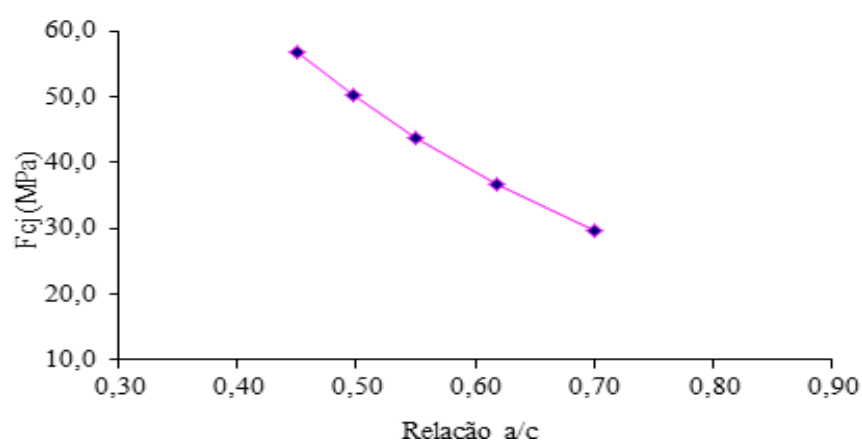
Figura 33: Propriedades no estado endurecido para os traços ensaiados



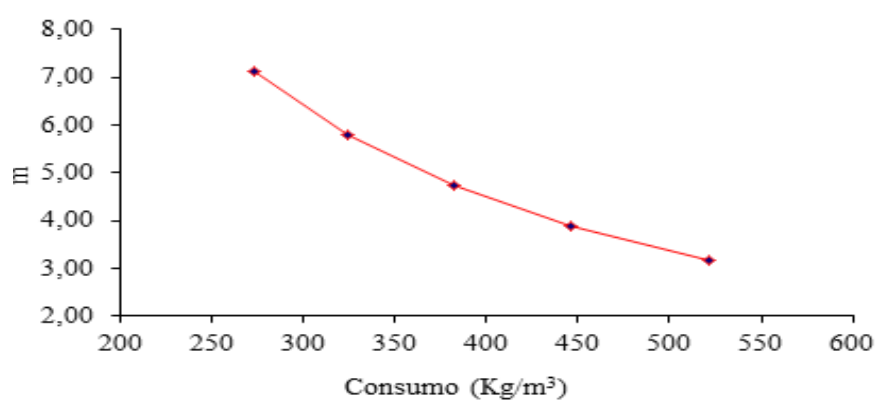
Fonte: Autor (2021)

Os resultados demonstram um bom desempenho do concreto autoadensável também na questão da resistência à compressão, sendo que para este ensaio experimental não foi especificado anteriormente um valor de resistência à compressão a ser alcançado. Aos 28 dias o concreto apresentou nos traços 1:3, onde foram utilizados 540 kg de cimento por m³, 1:5 no qual foram utilizados 370 kg por m³, e 1:7 com 277 kg por m³ resistências de 29,76, 44,56 e 56,83 MPa.

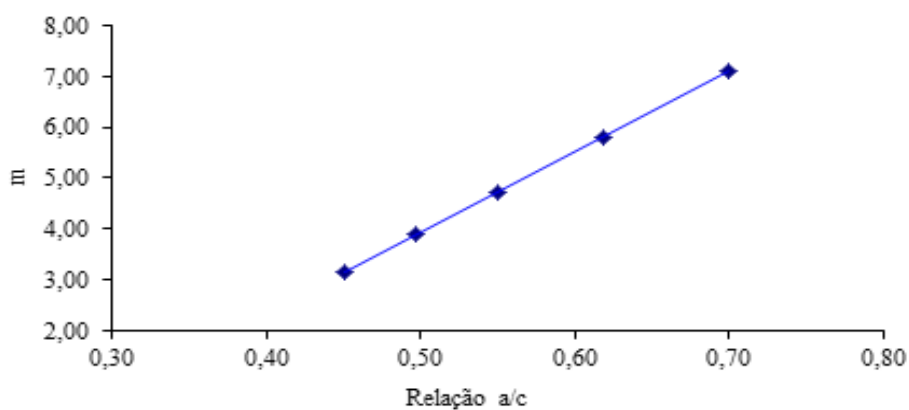
Após a obtenção dos resultados, foi possível traçar o diagrama de dosagem para estimativa da quantidade de materiais a serem utilizados no caso de dosar concretos com outras resistências, ou mesmo em idades diferentes daquelas em que os corpos de prova foram rompidos. A Figura 34 apresenta a relação entre água/cimento e resistência. Na Figura 35, há o consumo de cimento em relação ao traço 1:m e a Figura 36 traz a relação água/cimento para o traço 1:m.

Figura 34: Relação entre água/cimento e resistência

Fonte: Autor (2021)

Figura 35: Relação entre consumo de cimento e traço (1:m)

Fonte: Autor (2021)

Figura 36: Relação entre água/cimento e traço (1:m)

Fonte: Autor (2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, as amostras do ensaio experimental do concreto autoadensável com materiais regionais atendem aos parâmetros de aceitação do concreto autoadensável, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Para que os três traços de concreto ensaiado fossem considerados de mesma família, foi mantido um teor de argamassa de 56% e uma porcentagem de aditivo superplastificante de 0,45% em cada um dos ensaios. O concreto apresentou boa fluidez, que é necessária para o bom espalhamento e preenchimento das fôrmas, evidenciando que o aditivo superplastificante utilizado apresentou bom desempenho e eficiência. O concreto também apresentou boa habilidade passante ao passar pelas barras de aço com facilidade, sem que houvesse acúmulo de concreto próximo a elas, revelando que é possível sua aplicação mesmo em peças com maiores taxas de armaduras sem que haja falhas de concretagem. Apresentou, ainda, boa resistência à segregação, afirmando que o concreto pode ser transportado, lançado e adensado com facilidade sem que haja dispersão dos agregados.

Embora os resultados dos ensaios do concreto autoadensável no funil V terem demonstrado um tempo de escoamento entre 5 e 6 segundos, e que, segundo a norma, é possível sua aplicação, notou-se que o concreto não atingiu a viscosidade esperada, sendo uma das prováveis causas a ausência de material fino. O ensaio de granulometria demonstrou que a areia fina apresentou um módulo de finura de 1,57, quando o ideal para utilização como filer seria entre 0,80 e 1,0. O controle da viscosidade do concreto é importante para aliviar a pressão que o concreto exerce sobre as fôrmas durante o lançamento e o adensamento do concreto, principalmente quando utilizado no sistema de paredes de concreto, no qual é utilizado em grandes volumes. Os ensaios de resistência à compressão também apresentaram resultados satisfatórios, sendo que as resistências encontradas ficaram em uma faixa de abrangência entre 29,76 a 56,83 MPa aos 28 dias.

Após a avaliação dos resultados, recomenda-se para que em trabalhos futuros sejam realizados ensaios utilizando areia com um módulo de finura maior em relação ao utilizado neste ensaio, a fim de aumentar a viscosidade e o espalhamento do concreto autoadensável sem que haja necessidade do aumento na porcentagem do aditivo superplastificante, podendo iniciar o ensaio com porcentagem de areia fina em torno de 30% e aumentando até atingir a viscosidade e o espalhamento ideal.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. L. **Considerações sobre concreto autoadensável e uma aplicação com materiais locais**. 2003. 80f. (Dissertação de mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-1: 2010 - **Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no Estado fresco**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR15823-2:2010 - **Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-4:2010 - **Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-5: 2010 - **Concreto autoadensável Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-6:2010 - **Concreto autoadensável Parte 6: Determinação da resistência á segregação – Método da coluna de segregação**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118:2014 - **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 33: **Concreto – Amostragem de concreto fresco**. Rio de janeiro, 1998.

GOMES, P. C. C; BARROS, A.R. **Método de dosagem de concreto AutoAdensável**. 1. Ed. São Paulo: Editora PINI, 2009.

HELENE, P. R. L; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1ª Ed., 3ª reimpressão, (fev.2001). São Paulo: Editora PINI, 1992.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª Ed. (2008). São Paulo: Editora IBRACON- Instituto Brasileiro de Concreto.

MELO, C; HELENE, P. Caracterização do concreto autoadensável aplicado em paredes de concreto moldadas no local conforme ABNT NBR 15823:2010. **Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto**, São Paulo 2017.

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

TUTIKIAN, B. F; DAL MOLIN, D.C. **Concreto Autoadensável**. 1ª Ed. São Paulo: Editora PINI, 2008.

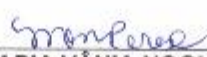
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

EMERSON SIGNORINI

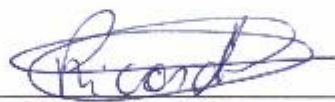
**ANÁLISE DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL USANDO
AGREGADO GRAÚDO E MIÚDO EXISTENTES NA REGIÃO DE CASCAVEL-PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora **Engenheira Civil – Mestre, MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES.**

BANCA EXAMINADORA


Orientadora Prof. Mestre, **MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil


Professor Mestre, **JULIO TOZO NETO**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil


Professor Mestre, **RICARDO PAGANIN**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 19 de novembro de 2021.