

DESENVOLVIMENTO DE CONCRETO AUTO ADENSÁVEL PARA USO EM INDUSTRIAS DE PRÉ-FABRICADOS

CAMPOS, Eduardo Meira¹

FRARE, Andreza²

COSTA, Bárbara Pergher Dala³

FREITAS, Carolina⁴

RESUMO

O concreto auto adensável vem sendo muito utilizado na indústria de pré-fabricados, com ele tem a diminuição da mão de obra por ser um concreto que não necessita de adensamento, usa-se os mesmos materiais em um concreto convencional, com uma única diferença na quantidade de finos e adição de aditivos. Esse referente artigo tem por seu objetivo produzir um concreto auto adensável e comparar com um outro concreto auto adensável utilizado em fabrica, definir qual melhor traço com os métodos de ensaio no estado fresco e compressão axial nas primeiras idades, tendo em vista uma estimada resistência de pelo menos 12 MPa, para um aumento da produtividade. Os dois traços obtiveram seus resultados dentro das normas.

Palavras-chave: *concreto auto adensável; traço; produtividade; resistência*

ABSTRACT

Self-compacting concrete has been widely used in the precast industry, with it having a reduction in labor as it is a concrete that does not need compaction, the same materials are used in conventional concrete, with a single difference in amount of fines and addition of additives. This article aims to produce a self-compacting concrete and compare it with another self-compacting concrete used in the factory, to define the best mix with the test methods in the fresh state and axial compression in the first ages, considering an estimated strength of at least 12 MPa, for increased productivity. Both traits obtained their results within the norms.

Keywords: *self-compacting concrete; traceability; productivity; strength*

¹Acadêmico –Centro Universitário Campo Real, eng-eduardocampos@camporeal.edu.br

²Mestra em Engenharia Civil – Materiais e Estruturas - UTFPR. Professora do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real, (prof_andrezafrare@camporeal.edu.br)

³Especialista em Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia pelo IPOG. Professora do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real, (prof_barbaracosta@camporeal.edu.br)

⁴Professora do Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real (prof_carolinafreitas@camporeal.edu.br).

1. INTRODUÇÃO

A Industrialização da construção civil aconteceu, pelo aumento da população urbana. Esse crescimento, longe do esperado, trouxe ao país uma dificuldade com moradias para essas pessoas, acabou resultando na criação do Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1966, responsável por impulsionar a construção civil. Algumas dessas construções apresentaram, complicações patológicas e funcionais ao longo do tempo, custando alto valor na manutenção e alguns casos precisarem ser demolidos. Entre as causas apuradas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) material de baixa qualidade nos painéis, déficit das peças estruturais e a problema nas armaduras dos elementos estruturais. Esses foram alguns fatores responsáveis pelo quase desaparecimento dos pré-fabricados no Brasil. Retornou no início da década de 90, pelo vasto desenvolvimento da cidade de São Paulo-SP, recebeu grandes investimentos, o que propôs um vasto aumento de construções. Essas construções, por demandarem grande velocidade de execução, requerem um alto padrão em acabamento e requinte a partir disso teve a volta do pré-fabricado no Brasil. Desde então, foi crescendo a tendência do uso de distintos materiais pré-fabricados em uma única obra.

A busca por maior produtividade e qualidade na indústria de pré-fabricados vem viabilizando o uso de concretos de alto desempenho e auto adensáveis. No Japão, em 1988, foi desenvolvido um concreto de alto desempenho com uma excelente deformabilidade no estado fresco e alta resistência à segregação. Este concreto, que possui a capacidade de se moldar nas fôrmas sem vibração ou compactação, passando coeso através das armaduras (ARAÚJO *et al*, 2003), com isso as formas por terem sua altura grande esse tipo de concreto auxiliar na expulsão das bolhas de ar.

Observa-se, porém, que o uso do CAA ainda é bem restrito. (OKAMURA e OUCHI, 2003) citam que, no ano de 2000, este concreto correspondia a apenas 0,15% do concreto utilizado empregado no Japão, e a 0,55% dos pré-fabricados, no Brasil, o material ainda não é muito conhecido e há poucos registros de sua utilização em estruturas comuns.

O concreto auto-adensável (CAA) no Brasil, até a década de 1970, teve sua utilização restrita a obras submersas. Atualmente, apesar de ser um assunto que ainda vem sendo pesquisado, ganhou força com sua utilização em obras de densa armadura e fundações de difícil vibração. Além disso, indústrias de pré-moldados vem demonstrando interesse por esse tipo de concreto, uma vez que não há necessidade de adensamento e o acabamento da superfície é melhor (GEYER e SENA, 2002).

Segundo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008), com a eliminação do processo de adensamento ou compactação mecânica, o ambiente de trabalho pode melhorar bastante, o

trabalho braçal fica mais leve e o barulho da vibração é eliminado. O uso do concreto auto-adensável direciona a construção civil para uma produção industrializada, diminuindo o custo da mão-de-obra, aumentando a qualidade, a durabilidade, a confiança na estrutura e aumentando a segurança dos trabalhadores.

Quanto à normatização, o CAA, está sendo analisado junto à ABNT. Sua Norma técnica será a ABNT NBR 15823, 2010, os requisitos para um concreto ser considerado auto adensável: acesso do concreto pela armadura, alta fluidez, resistência à segregação, presença importantíssima de aditivo e uso de materiais finos.

A referida pesquisa tem por seu objetivo realizar a dosagem de um concreto auto adensável (CAA), para fabricação de placas protendidas pré-concretagem, e compara-lo com um traço já utilizado em fábrica. Adequando-se em uma estimada resistência à compressão axial inicial maior ou igual à 12 MPa em até 24 horas, para o aumento da produtividade tem-se esta resistência, de acordo com a análise produzida em fábrica, com esta resistência inicial o cabo não corre no pela peça.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

Nos anos 80 no Japão, devido à reduzida de mão de obra e a falta de equipamentos sofisticados para a realização de um bom adensamento do concreto, com influência das grandes taxas de armaduras para resistir principalmente a abalos sísmicos, técnicas de produção do concreto foram pesquisadas por vários centros de investigação deste país (FRANCZAK E PREVEDELLO, 2012).

Um dos principais pesquisadores foi o Professor Okamura, da Universidade de Tóquio, que iniciou um trabalho para solucionar tal problema, o objetivo de seus estudos, era obter um concreto com a capacidade de se adensar naturalmente, dispensando a necessidade de qualquer tipo de vibração mecânica. Seu primeiro protótipo foi concluído em 1988 (GOMES, 2002).

Para o concreto ser estabelecido como auto adensável, ele precisa ser capaz de completar os vazios das formas sem a utilização de qualquer vibração mecânica, somente com a pressão atmosférica.

2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES CONCRETO

A composição do CAA na prática são iguais usados para a composição do CCV, que são: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Já no CAA a porção de finos e

aditivos são superiores e que não são tão fáceis de serem dosados, bem como a escolha dos materiais como cimento e agregados, em compreensão das alterações nas composições e nas características de cada um. É claro que no CCV é consumido um certo produto atribuído para aperfeiçoar ou conferir propriedades, como (impermeabilidade da massa, diminuição do calor de hidratação, aumento da durabilidade, maior plasticidade quando fresco, rápido aumento da resistência quando endurecido, etc.) Mas no CAA o que sobrecarrega é que como podem ser consumidos imensuráveis aditivos químicos e adição mineral conjuntamente não há regras objetivas para melhor seleção dos materiais.

2.3. CIMENTO

O cimento Portland é um material pulveroso com propriedades aglomerantes, formado de silicatos e aluminatos complexos que ao ser envolvido com a água, hidratam-se e geram o endurecimento da massa, oferecendo então elevada resistência mecânica.

O cimento resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda cal combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio de modo que o teor de sulfato não ultrapasse 3%, a fim de regularizar o tempo de início das reações dos aglomerantes com a água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Não há um cimento certo para o CAA. No entanto, é utilizado o cimento Portland (CP), tipo abundante produzido e simplesmente comercializado. Porém, nas indústrias pré-fabricadas se utiliza mais o (CP V-ARI) com alta resistência inicial tem elevada reatividade em baixas idades em encargo do grau de moagem.

2.3.1. AGREGADOS GRAÚDO

Determinadas recomendações para os agregados de CAA são apresentadas na literatura: O volume de agregado miúdo é fixado em 40 % do volume de argamassa. Já para o agregado graúdo, a sua quantidade utilizada no concreto deve ser 50% do volume de sólidos (GOMES, 2002). GOMES e MAESTRO, (2005) recomendam que a dimensão máxima característica do agregado graúdo seja inferior a $2/3$ do espaçamento entre barras ou grupos de barras e a $3/4$ do cobrimento mínimo de concreto à armaduras. Na prática, isso implica em não utilizar tamanhos máximos superiores a 19 mm, sendo habituais os tamanhos compreendidos entre 12,5 e 19 mm.

Na formação do concreto, a união agregado-pasta de cimento executa um papel importante para a relação entre eles. Assim, o aspecto e textura superficial do agregado são motivos relevantes no procedimento mecânico. Segundo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). Embora agregados angulares com superfícies ásperas apresentem melhor aderência com a pasta de cimento que agregados lisos e arredondados, podem surgir efeitos opostos no aumento do consumo de água e redução da trabalhabilidade se a angulosidade for muito acentuada. Por isso, indica-se para CAA agregados que possuam coeficiente de forma o mais próximo possível de 1.

A distribuição granulométrica do agregado influencia o empacotamento dos grãos e, como resultado, pode alterar a fração volumétrica das britas que serão incorporadas em uma mistura de concreto. A fração volumétrica está relacionada, principalmente, ao módulo de elasticidade do concreto e à retração por secagem, sendo menos deformáveis e com menores possibilidades de fissuração por retração na secagem os concretos com mais agregados e, conseqüentemente, com menor teor de argamassa (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

2.3.2. AGREGADO MIÚDO

O CAA é um concreto que necessita de adição de finos para uma melhor coesão, portanto, quanto mais fino o agregado miúdo melhor. Dessa forma, se for usado uma areia grossa, pode levar o concreto à segregação, o que não pode acontecer no CAA (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Normalmente, o agregado que passa na peneira 0,125 mm é considerado como um aporte adicional de fíler para efeitos de dosagem e, junto com as partículas dos finos e dos aglomerantes, podem aumentar a viscosidade e coesão da mistura (EFNARC, 2002).

2.3.3. ÁGUA

As condições de qualidade da água para CAA são iguais às do CCV, captação, poço artesiano ou de companhia de distribuição, ela é muito importante para o concreto provoca a reação de hidratação.

2.3.4. ADITIVO QUÍMICOS

Os superplastificantes são aditivos conhecidos como redutores de água de alta eficiência, por serem capazes de reduzir o teor de água de três a quatro vezes mais, para uma dada mistura, quando comparados aos aditivos plastificantes. São tensoativos de

cadeia longa, massa molecular elevada e um grande número de grupos polares na cadeia do hidrocarboneto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Policarboxilatos são os aditivos mais indicados para o uso no CAA, por serem superplastificantes de alta efetividade que dispersam e desfloculam as partículas de cimento, deste modo permitem a diminuição em até 40% da água de amassamento, indicado para a produção de concreto auto adensável, pré-fabricados e em peças com alta densidade de ferragens. Porém para cada tipo de máquina (misturador ou betoneira) é um tipo de superplastificante. Atende à ABNT: NBR 11768/2011. Ao incorporar o aditivo na pasta, o concreto causa mudança nas propriedades da mistura, fluidez, tempo de pega, hidratação entre outras.

Segundo (LIGA INDÚSTRIA QUÍMICA, 2021), flow que pode ser dosado de 0,2% a 1,2% sobre a massa de cimento e possibilita:

- Melhor coesão do concreto
- Grande redução de água
- Facilita o lançamento e adensamento do concreto
- Melhora do acabamento
- Aumento das resistências mecânicas em todas as idades.

2.3.5. ADIÇÃO DE FINOS

Os aditivos minerais, também conhecidos como adições minerais, são materiais finamente moídos, que são incorporados ao concreto com a finalidade de se obter características específicas. Estes são geralmente utilizados em grandes quantidades, com a finalidade de reduzir os custos, melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, podendo até melhorar a sua resistência à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado e ao ataque por sulfatos (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

As adições podem ser classificadas como predominantemente inertes ou predominantemente reativas, de acordo com a sua ação no concreto. As reativas contribuem para a formação dos hidratos, como: pozolanas, cinza volante, cinza da casca de arroz, cinzas da caldeira da queima do bagaço da cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim. Já as inertes provocam uma ação física, proporcionando uma estrutura com maior compacidade. Quimicamente falando, o aumento do desempenho mecânico e da durabilidade do concreto acontecem quando os vazios são ocupados por silicato hidratado de cálcio, que é um composto resistente derivado da hidratação do cimento Portland quando recebe a adição de minerais que reagem com o hidróxido de cálcio (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Dada a necessidade de se ter uma grande quantidade de finos para promover maior viscosidade ao CAA, a adição empregada neste trabalho foi filer calcário dolomítico. A escolha deste material se deu devido à busca de uma adição que não exercesse forte interferência na resistência à compressão do concreto, tendo em vista que esta propriedade serviu de ponto de partida para a determinação dos parâmetros de dosagem (MELO, 2005).

As maneiras de obter o concreto auto adensável não são fundamentadas apenas na questão da elevada fluidez do concreto, mas também vale ressaltar o poder do concreto em movimentar-se entre obstáculos sem ocorrer bloqueio nem resistência à segregação.

Os primeiros métodos de dosagem usados não eram muito econômicos e sua utilização era inviável. Vários métodos foram criados, porém o mais recente e viável é o conhecido como método TUTIKIAN e DAL MOLIN (2008).

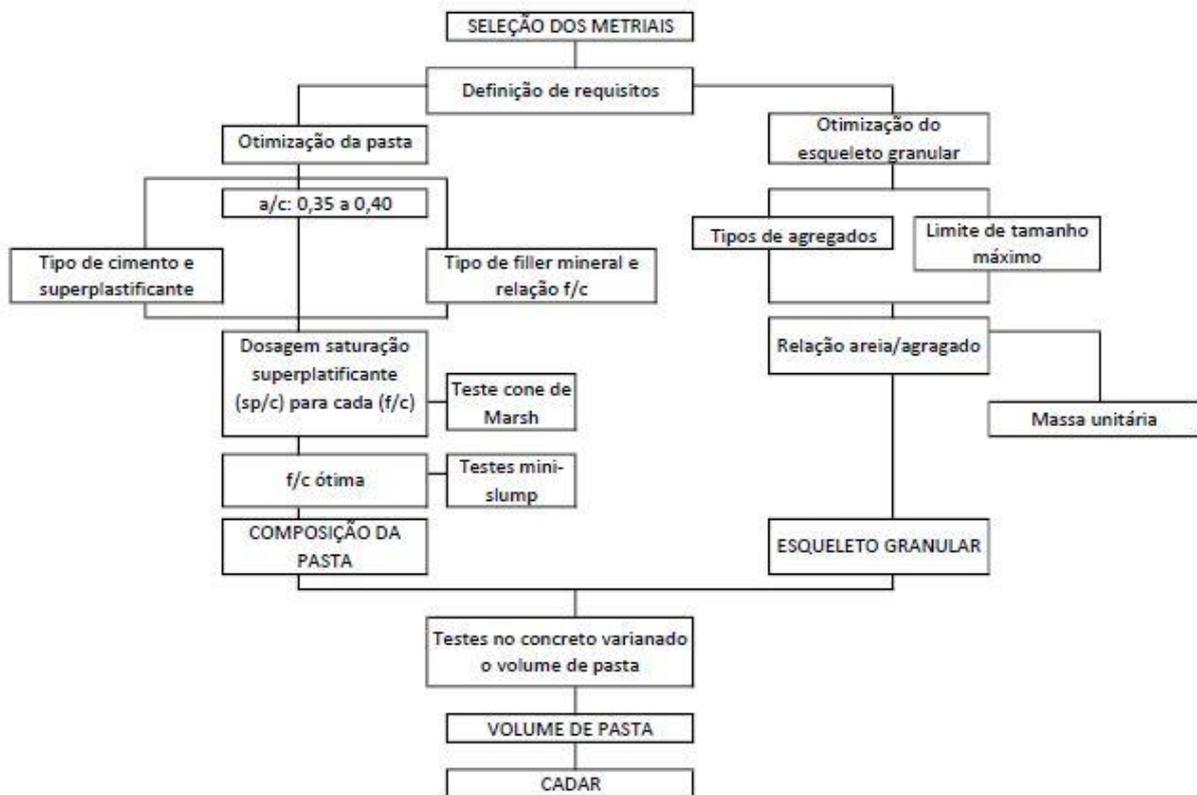
2.4. MÉTODO DE GOMES

O procedimento proposto por Gomes (2002), para CAA de alta resistência, foi fundamentado na otimização do esqueleto granular de agregados, otimização separada da composição da pasta, com a determinação da dosagem ótima de superplastificante, variando a quantidade de superplastificante e mantendo constantes as relações água/cimento (a/c) e filer/cimento (f/c), bem como a produção do concreto com a dosagem de superplastificante igual à dosagem ótima da pasta (GOMES, 2002).

A composição da pasta é definida pela quantidade de cimento e das relações a/c , e f/c . Como já foi exposto anteriormente, para um concreto de alta resistência, é fixado, a princípio, a relação $a/f = 0,4$ (limite superior). Em função disso, os parâmetros a serem determinados são as relações sp/c e f/c . A dosagem de superplastificante nas pastas é determinada através de ensaios do funil de Marsh, com abertura de saída de 8 mm de diâmetro, e de acordo com as recomendações da EN 445 (Norma Européia – Grautes para bainhas de protendidos. Métodos de Ensaio, 1996). Tal procedimento consiste em introduzir 1 litro de pasta no funil e medir o tempo (T) decorrido, para 500 ml de pasta fluir completamente pela abertura inferior do cone. Este tempo de fluxo se apresenta como um parâmetro inverso da fluidez da pasta. (GOMES, 2002).

A relação f/c ótima da pasta é aquela que apresenta um diâmetro de extensão final no mini-slump de 18 ± 1 cm, e um tempo T_{115} no intervalo de 2 a 3,5 s. Os ensaios da pasta com o cone de Marsh e o mini-slump permitem obter as respectivas relações de sp/c e f/c , que geram misturas de concreto com fluidez máxima, sem segregação e com alto nível de coesão interna, coesão essa, que não prejudique significativamente a fluidez do material (GOMES, 2002), como podemos ver na Figura 1 o fluxograma de dosagem.

Figura 1 - Fluxograma de dosagem Método de Gomes.

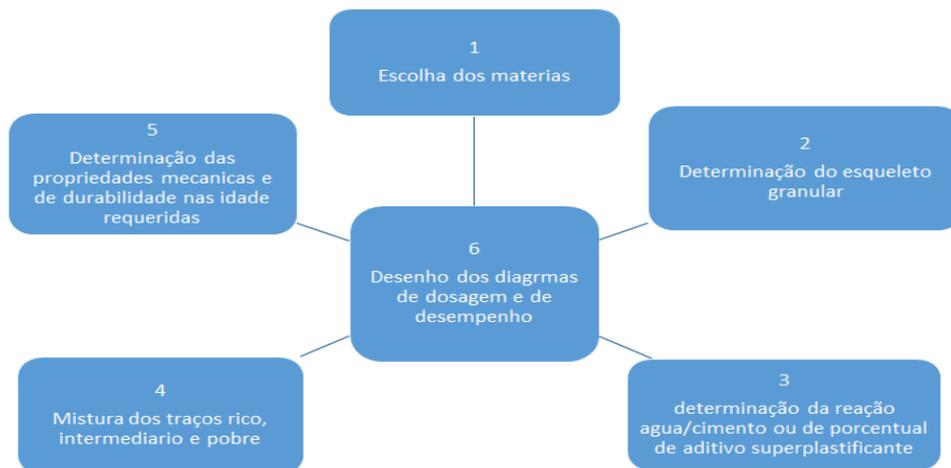


Fonte: GOMES, (2002).

2.5. MÉTODO DE TUTIKIAN E DAL MOLIN

Método de dosagem proposto por Tutikian e Dal Molin (2007) utilizam os conceitos de O'Reilly (1992), De Larrard (1999), IPT/EPUSP e Tutikian (2004), como mostra na Figura 2.

Figura 2 - Método de dosagem Tutikian.



Fonte: TUTIKIAN, (2008).

2.6. ESCOLHA DOS MATERIAIS

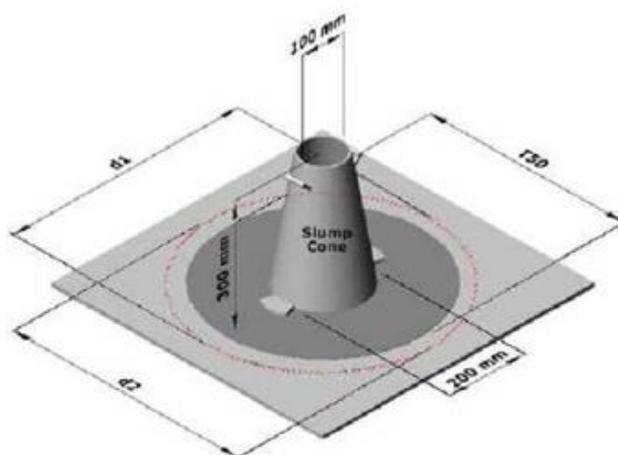
Os componentes do CAA: cimento, agregados miúdos, agregados graúdos, água, fíler calcário e aditivo superplastificante. Segundo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008) no entanto para o CAA são acrescentados um material fino de granulometria inferior a do agregado miúdo e aditivo superplastificante dependendo do caso, pode-se acrescentar outras classes de agregado graúdo e aditivo modificador de viscosidade. A seleção deles deve dar preferência para os esféricos com o mínimo diâmetro máximo, para que se consiga maximizar o empacotamento e, na sequência, reduzir a chance de segregação. É preciso que haja curva granulométrica dos materiais para uma boa distribuição dos componentes.

2.7. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

2.7.1. SLUMP FLOW TEST

Esse ensaio é um dos mais utilizados para verificação da propriedade de preenchimento do CAA nas formas (TUTIKIAN 2004). O ensaio de espalhamento (Slump Flow Test) equivale a preencher o tronco do cone de concreto sem o uso da barra de adensamento, logo em seguida levantá-lo, lentamente, deixando o concreto se expandir, como podemos observar na Figura 3.

Figura 3 – Equipamento Slump Flow Test.

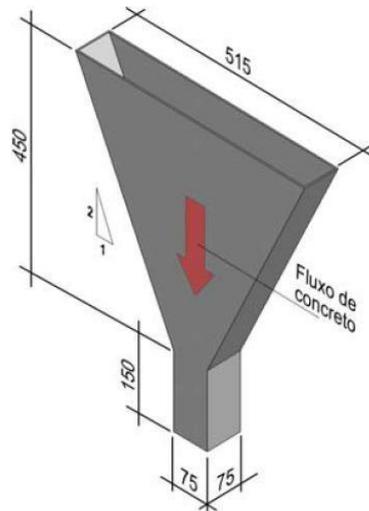


Fonte: CAINELLI, (2009).

2.7.2. FUNIL V

Esse método consiste em medir o tempo para certo volume de concreto, fluir totalmente por um funil (GOMES, 2002). O funil V deve estar nivelado e fixado para que não haja movimentações e deve molhar dependendo de qual material foi fabricado, em seguida encher de concreto sem compactação. Logo em seguida abrir a porta do funil e cronometrar,

esse tempo que o concreto leva para escoar sob ação da gravidade é o resultado do ensaio, podemos observar na Figura 4 o funil com suas medidas de acordo com (GOMES, 2002), na Tabela 1 podemos observar as diferentes dimensões e tempo que alguns autores utilizaram. Figura 4 – Equipamento funil V, e suas dimensões.



Fonte: OLIVEIRA, (2011).

Tabela 1 - Tempo e dimensões que alguns autores utilizaram.

REFERÊNCIAS	TEMPO (s)		DIMENSÕES (mm)			
	MÍNIMO	MÁXIMO	A	B	C	D
EFNARC (2002)	6	12	490	425	150	65
FURNAS (2004c)	-	-	515	450	150	65
Gomes (2002)	10	15	515	450	150	65 ou 75
Gomes et al. (2003a)	7	13	515	45	150	65
Araújo et al. (2003)	6	12	-	-	-	-
Noor e Uomoto(1999)	9,5	9,5	490	425	150	70
Peterssen (1998 e 1999)	5	15	550	450	120	75
Coppola (2000)	-	-	500	425	150	65

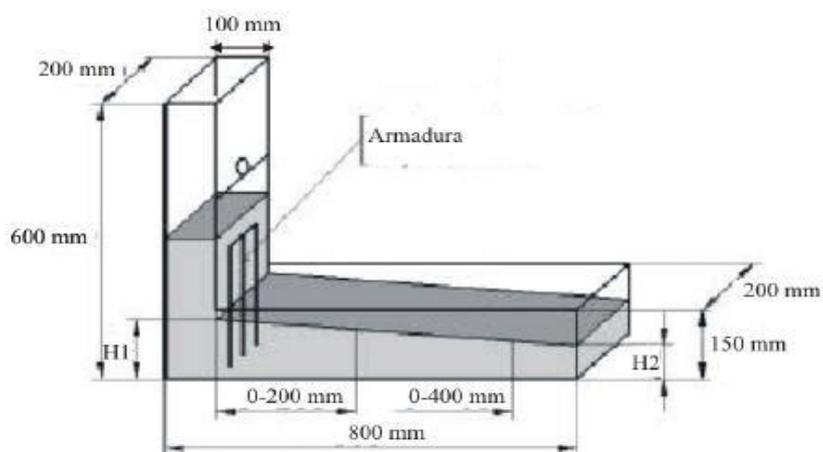
Fonte: TUTIKIAN, (2004).

2.7.3. CAIXA L

Neste ensaio, determina -se a capacidade do concreto de passar por restrições, simulando-se as armaduras, bem como sua deformabilidade, resistência ao bloqueio e resistência à segregação. A determinação é feita a partir do preenchimento da parte vertical da caixa em formato L, permitindo-se passagem do material para a parte horizontal após

este escoar pelas barras verticais existentes. O resultado é obtido a partir da razão entre as alturas nas partes horizontais (H_2) e vertical (H_1) da caixa. Uma outra possibilidade é medir o tempo decorrido para que o concreto atinja as distâncias de 20 e 40 cm ao longo do eixo horizontal, definindo-se como adequados tempos menores que 1 e 2 segundos, respectivamente (GOMES, 2002), observa-se na Figura 6 com suas respectivas dimensões da caixa L, na Tabela 2 pode-se observar as diferentes medidas e dimensões que alguns autores utilizaram para a caixa L.

Figura 6 - Caixa L dimensões.



Fonte: EFNARC, (2002).

Tabela 2 - Medidas e dimensões que alguns autores utilizaram

REFERÊNCIAS	MEDIDAS			DIMENSÕES (mm)				
	H2/H1	T 20(s)	T 40(s)	A	B	C	D	E
EFNARC (2002)	0,8	-	-	100	200	600	800	150
FURNAS (2004c)	-	-	-	100	200	600	700	150
Gomes (2002)	0,8	<1	<2	100	200	600	700	150
Gomes et al. (2003a)	0,8	0,5-1,5	2-3	100	200	600	700	150
Araújo et al. (2003)	0,8	-	-	-	-	-	-	-
Rigueira Victor et al. (2003)	0,8	<1,50	<3,50	-	-	-	-	-
Peterssen (1998 e 1999)	0,8	-	-	100	200	600	700	150
Barbosa et al.(2002)	-	-	-	100	-	600	700	150
Tviksta (2000)	0,85	-	-	100	200	600	-	150
Coppola (2000)	0,9	-	-	120	300	600	780	200
Palma (2001)	0,8	-	3 a 6	-	-	-	-	-

Fonte: TUTIKIAN, 2004.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PRODUÇÃO DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

Para a confecção do concreto auto adensável, foi utilizado cimento CP-V-ARI, fíler calcário, areia natural, agregado graúdo classificado segundo a ABNT NBR 7211:2019: Zona granulométrica d/D 4,75/12,5 (brita 0), água potável e aditivo superplastificante FLOW 42.

Segundo o fabricante o cimento do tipo CP-V-ARI, inclui uma adição de até 10% de fíler calcário e não inclui adição de pozolanas em sua composição. Também, foi empregado fíler calcário como adição ao concreto, havendo como objetivo o controle da segregação, a fim de minimizar a utilização de cimento, como mostra a Figura 7 o fluxograma de dosagem, esse concreto foi confeccionado em uma empresa de pré-fabricados em Prudentópolis-PR, a origem dos materiais do concreto cimento CP-V-ARI da região de Campo Largo-PR, agregado graúdo da região de Irati-PR, agregado miúdo e fíler calcário da região de Ponta Grossa-PR, aditivo químico da região de Araranguá-SC, todos os materiais foram transportados até a presente empresa com a frota de veículos própria.

A Tabela 3 apresenta a caracterização dos materiais a partir dos valores da massa específica recomendados pela ABNT NBR NM 52 e 53 de 2009, e superfície específica, os quais foram obtidos em acordo com o método de *Le Chatelier* (NBR NM 23) e pelo permeabilímetro de Blaine (NBR NM 76). A Figura 8 mostra a curva granulometria do agregado miúdo (areia natural) com os limites estabelecidos por Melo (2005). A Figura 9 mostra a curva granulometria do agregado graúdo (brita 0). A partir da ABNT NBR NM 248 (2003), foi definido a dimensão máxima característica dos agregados utilizados.

Figura 7- fluxograma de dosagem do concreto.

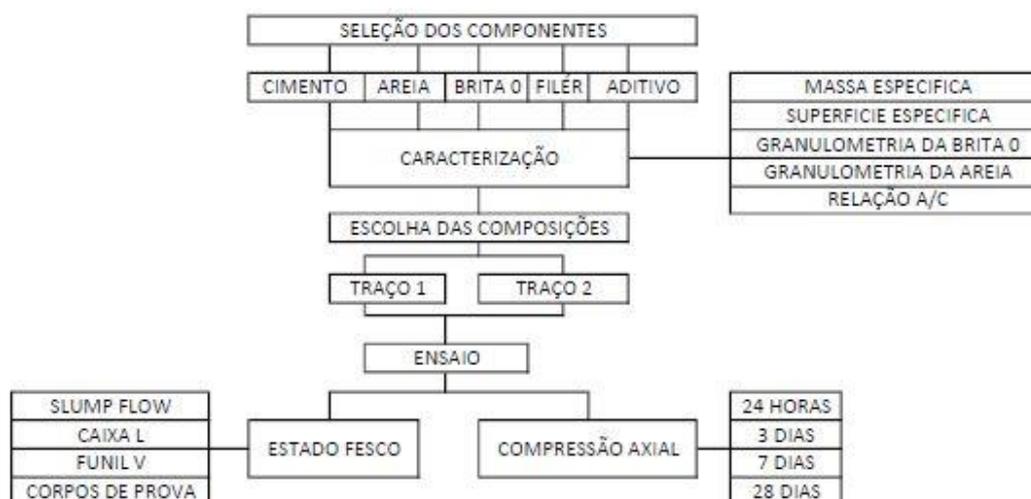
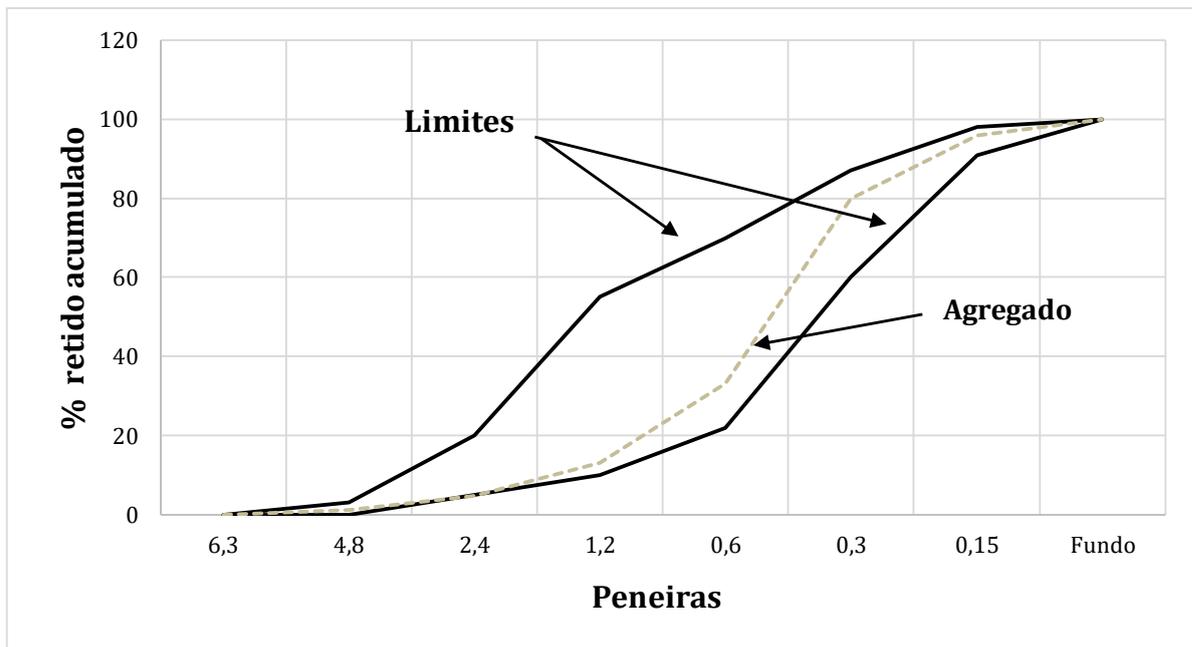


Tabela 3 - Caracterização dos materiais.

MATERIAL	MASSA ESPECIFICA (g/cm ³)	SUPERFICIE ESPECIFICA (cm ² /g)	DIMENSÃO MÁXIMA DOS AGREGADOS
CIMENTO CP-V-ARI	3,05	5583	-
AREIA NATURAL	2,64	-	2,8mm
BRITA 0	2,75	-	12,5mm
FILER CÁLCARIO	2,82	4483	-

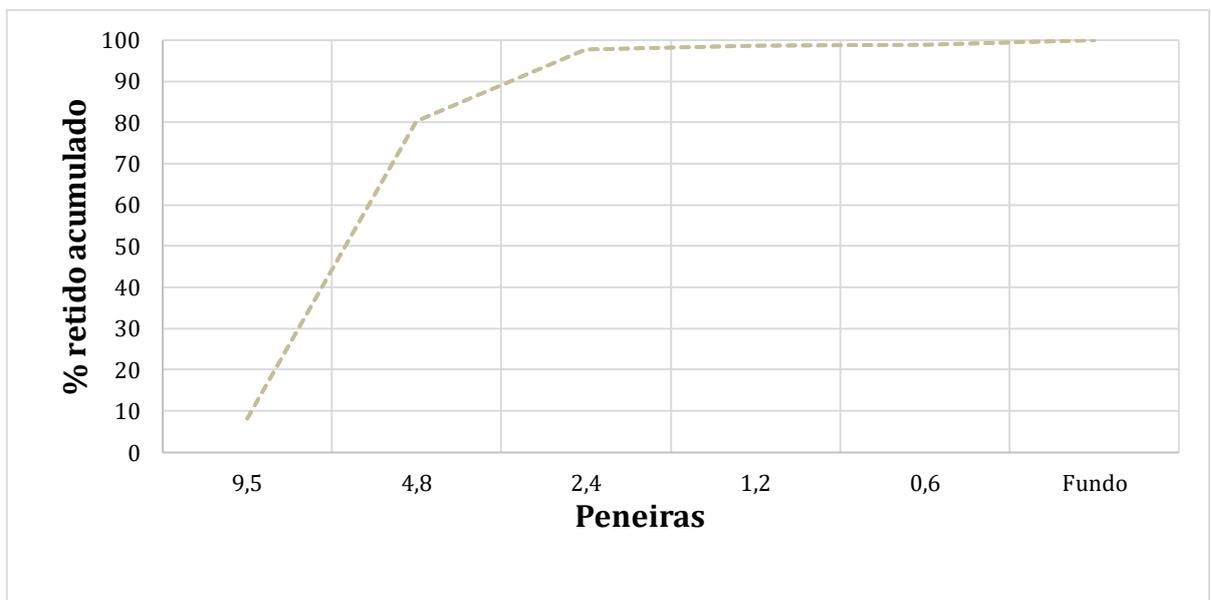
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 8 - Granulometria do agregado miúdo (areia natural).



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 9 - Granulometria do agregado graúdo (brita 0).

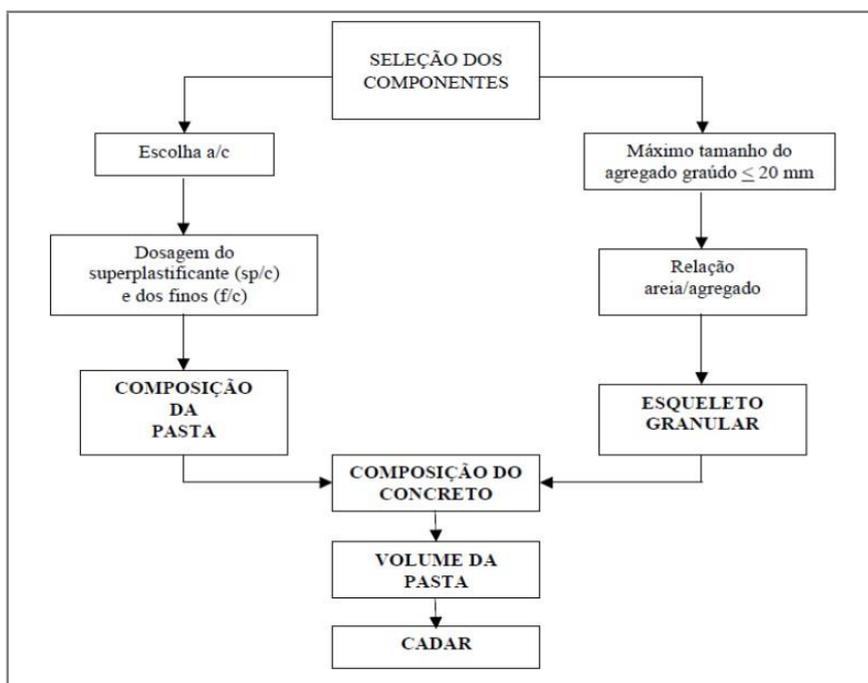


Fonte: Autoria própria (2021).

3.2. DOSAGEM DO CONCRETO

Para a dosagem do concreto auto adensável confeccionado nesse estudo, foi seguido as etapas propostas por Gomes e Barros (2009), como mostra na Figura 10. A relação água/cimento (a/c), bem como a porção de agregados em massa (m), foram determinadas com base nas recomendações de (GOMES e BARROS, 2009) o qual indica que para a dosagem do concreto auto adensável seja apontada uma relação a/c entre 0,35 e 0,55 e uma massa entre 3,5Kg à 5,5Kg. À vista disso, foi usado uma a relação a/c de 0,5 e um valor de massa igual a 4,15. Comparando com o traço já utilizado em fabrica notou-se o mesmo valor de m e mesma relação água/cimento a/c .

Figura 10 - Dosagem proposta.



Fonte: GOMES, (2002).

A Tabela 4 mostra os traços comparados, onde o 1 utilizado na empresa e 2 traço desenvolvido.

Tabela 4 - Traços utilizados.

Traço	Cimento	Areia Natural	Brita (0)	Relação A/C	Aditivo (%)	% Fíler
1	1	1,44	2,7	0,5	0,7	50
2	1	2,25	2	0,5	0,95	20

Fonte: Autoria própria (2021).

3.3. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

As características do estado fresco do concreto, como a capacidade de preenchimento, capacidade de passagem entre os obstáculos e resistência à segregação, foram analisadas através dos ensaios de Slump-test ABNT NBR 15823-2 (2010), Caixa-L ABNT NBR 15823-4 (2010) e Funil-V ABNT NBR 15823-5 (2010).

3.4. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Seguindo as indicações da ABNT NBR 5738 (2008), foram confeccionados 12 corpos de prova de cada traço sem a utilização de adensamento, os quais foram moldados em moldes de pvc de formato cilíndrico com diâmetro de 10 cm (centímetros) e altura de 20 cm, moldados direto caixa que espalha o concreto, deixado no local por aproximadamente 3 horas, para uma pré secagem para que o deslocamento até o laboratório não ocorra segregação, após isso é coberto por uma lona plástica até o desmolde.

O desmolde ocorreu após (22) vinte e duas horas e, na sequência, os corpos de prova foram identificados e retificados para alinhar suas superfícies de contato com a prensa, após isso foram feitos os ensaios de compressão axial, os quais foram realizados as 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias, sendo rompido três corpos de prova para cada idade.

3.5. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Após a cura, nas idades de 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias, os corpos de prova foram rompidos na prensa EMIC DL 30000 para determinação da resistência à compressão axial, de acordo com a metodologia descrita na ABNT NBR 5739 (2007).

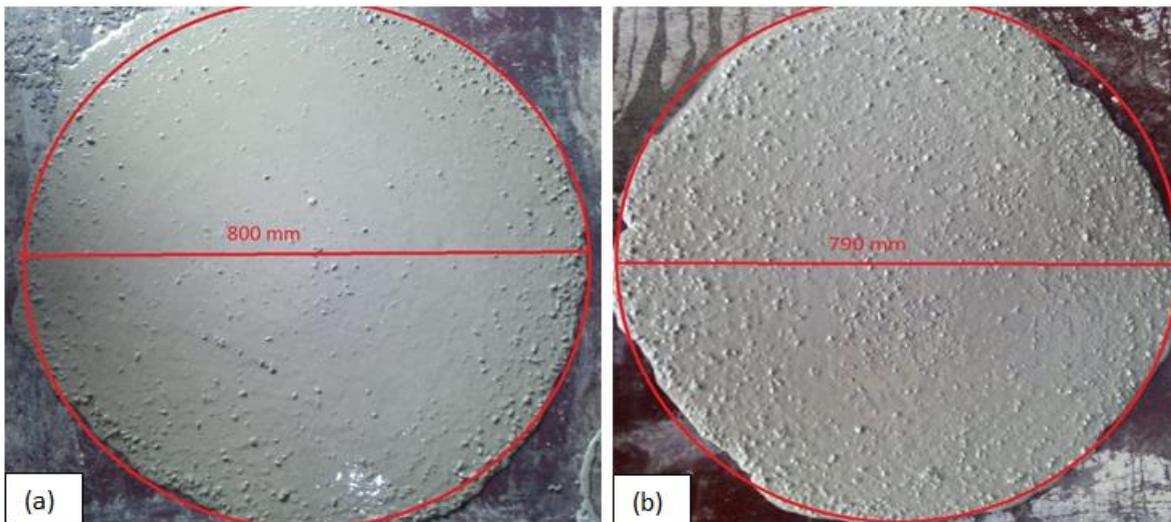
4. RESULTADOS

4.1. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

4.1.1. SLUMP TEST FLOW

Os dois traços foram testados quanto a espalhamento. A Figura 11 apresenta o espalhamento dos traços, (a) Traço 1 e (b) Traço 2.

Figura 11 - Slump-test flow.



Fonte: Autoria própria (2021).

A norma indica que o valor de espalhamento fique entre 600mm e 800mm, dessa forma os dois traços ficaram dentro do estipulado. Além disso, pode-se notar que nos dois traços ensaiados não apresentaram aglomeração de agregado graúdo no centro do espalhamento, indicando uma boa coesão do concreto.

A Figura 12, mostra o resultado do ensaio de caixa L, (a) Traço 1 e (b) Traço 2.
Figura 12 – Ensaio de Caixa L.



Fonte: Autoria própria (2021).

Tanto o Traço 1 quanto o 2, apresentaram um escoamento dentro do recomendado pela norma que é de 0,8 a 1,0 segundo. O Traço 1 obteve um valor de 0,85s e o 2 de 0,9s. Além disso, observou-se que os dois traços não tiveram dificuldade de passagem pelos obstáculos e não havendo separação dos agregados graúdos, indicando que apresentou segregação.

A Tabela 5 apresenta o resumo de resultados obtidos nos ensaios de estado fresco do concreto.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios no estado fresco.

Propriedade Avaliada	Método de Ensaio	Valores Limites	Valores Obtidos	
			Traço I	Traço II
Habilidade de Preenchimento	Espalhamento (Cone de Abrams)	600mm - 800mm	800 mm	790mm
Habilidade de Preenchimento e de Passagem por Restrições	Funil - V	5s - 10s	10s	6s
	Caixa - L	H2/H1 entre 0,8 - 1,0	0,85	0,9
Resistência à Segregação	Espalhamento (Cone de Abrams e Caixa-L)	Observação Visual. Não Pode Haver separação dos materiais	Não houve Separação de materiais	Não Houve Separação de materiais

Fonte: Autoria própria (2021).

4.2. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1. COMPRESSÃO AXIAL

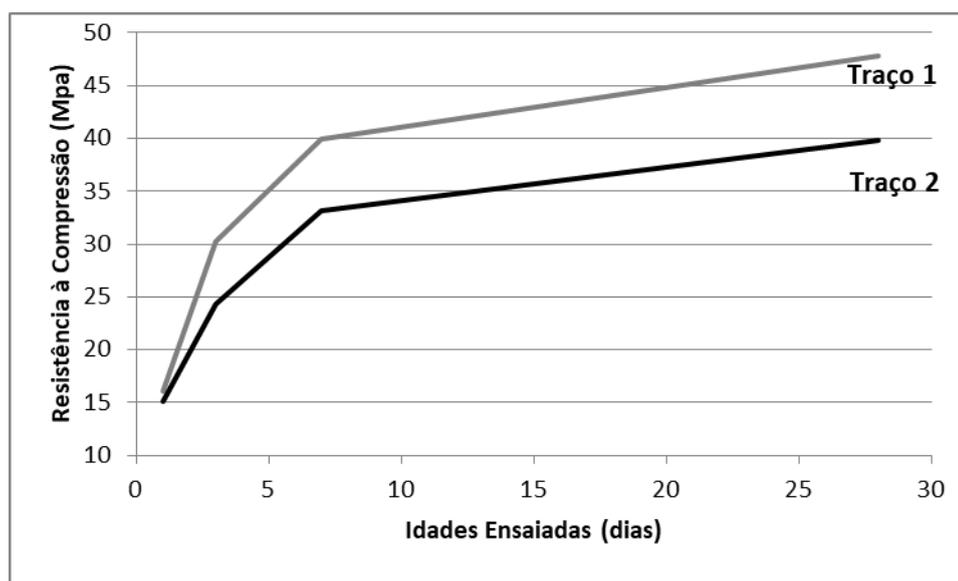
Os resultados da compressão axial dos corpos de prova em suas respectivas idade 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias, dos traços 1 e 2 obtiveram resultados acima do objetivo desejado de 12 Mpa para 24h, como mostra a Tabela 6, a Figura 13 mostra o gráfico dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial.

Tabela 6 – Resistência à compressão.

Traço	Resistência à Compressão 24 horas (Mpa)	Resistência à Compressão 3 dias (Mpa)	Resistência à Compressão 7 dias (Mpa)	Resistência à Compressão 28 dias (Mpa)
1	16,09	30,27	39,88	47,85
2	15,16	24,37	33,12	39,75

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 13 – Resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2021).

Na primeira idade de 24 horas os dois traços obtiveram resultado muito próximo Traço 1, 16Mpa e Traço 2, 15Mpa, alcançando o objetivo de 12 Mpa. Nas outras idades observou-se um distanciamento entre as resistências dos dois traços. Aos 28 dias o Traço 1 obteve uma resistência de 47,89Mpa e o Traço 2, 39,75 Mpa.

4.3. COMPARATIVO DE CUSTO

A Tabela 7 apresenta o comparativo de custo dos dois traços dosados.

Tabela 7 - Relação preço/m³.

TRAÇO	CIMENTO (R\$)	AREIA (R\$)	BRITA 0 (R\$)	ADITIVO (R\$)	FÍLER (R\$)	TOTAL (R\$)	R\$/Mpa
1	194,51	29,95	38,76	25,34	17,92	306,48	19,16
2	199,37	47,89	29,12	30,10	7,35	313,83	20,92

Fonte: Autoria própria (2021).

Analisando a tabela 7, podemos constatar que o traço 2 apresentou um valor por m³ superior que o traço 1, em torno de R\$ 7,00.

Porém se compararmos o custo por Mpa de resistência desenvolvido nas primeiras 24h nota-se que o traço 1, torna-se mais viável, pois para desenvolver 1 Mpa de resistência foi necessário R\$19,16 enquanto o para o traço 2 foram necessários R\$20,92 para obtermos 1Mpa.

Fazendo uma estimativa mensal de custo, supondo que a empresa produza diariamente em torno de 60m³ de concreto e considerando 22 dias úteis no mês temos para o traço 1 um custo de R\$ 404.553,60 e para o traço 2 um custo de R\$ 414.255,60 uma economia de R\$ 9.702,00 ou 2,65%.

CONCLUSÃO

O estudo deste referido artigo tinha como objetivo confeccionar um traço e compará-lo com um traço já utilizado em fábrica, verificar qual dos traços tem maior resistência inicial e menor custo.

Os dois traços mostrou com os resultados obtidos nos métodos de ensaio no estado fresco dentro das referidas normas, o traço comparado com o utilizado na empresa, foi confeccionado com teor de argamassa em 60% e o utilizado em fábrica 45%, o traço 1 pelo motivo de ter maior quantidade de material graúdo (brita 0) mostrou uma resistência na primeira idade de 24 horas 6% superior em relação ao traço 2, já nas idade seguintes de 3 dias, 7 dias e 28 dias o traço 1 mostrou uma resistência superior de 20% nas respectivas idades.

Portanto o traço testado ficou inviável comparado com o utilizado em fabrica, mas para melhorar nesse traço para estudos futuros poderia ser utilizado outros materiais como forma de redução de custo, mantendo a busca pela mesma resistência na idade inicial de 12 MPa.

REFERENCIAS

ARAÚJO, Jussara Limeira et al; **Concreto auto-adensável com materiais locais no nordeste brasileiro**. In: 45° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. CD-ROM, Vitória, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4**. Concreto Auto-Adensável - Determinação da habilidade passante - Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

CAINELLI, Leonardo Rubechini. **Levantamento do estado da arte de concreto auto-adensavel**, 2004.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto- adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, 2006.

EFNARC. **Specificacion and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. EFNARC, 2002.

FRANCZAK, Cibeli Cristine Melo; PREVEDELLO, Felipe Zahdi Raffo. **Estudo comparativo entre dois tipos de aditivos para um mesmo traço em concreto auto-adensável**. Curitiba-PR, 2012.

GEYER, André Luiz Bortolacci; SENA, Adriana de Moraes. **Avaliação do Comportamento Mecânico do Concreto Auto-Adensável com Relação ao Concreto Convencional**. 44º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2002.

GÓMES, Jaime Fernandes; MAESTRO, Manuel Burón. **Guia práctica para la utilización del hormigón autocompactante**. Instituto Espanol del cemento y sus aplicaciones. Madrid, 2005.

GOMES, Paulo Cesar Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo, Pini – 2009.

GOMES, Paulo Cesar Correia. **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete**. 2002. Tese - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

JUVAS, Klaus. **Self-compacting concrete - developments in the precast industry**. Concrete Precasting Plant and Technology, v.70, n.8, 2004.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. Monteiro. **Concreto, estrutura, propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MELO, Karoline Alves. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário**. Florianópolis 2005.

NBR 11768. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

NBR 15823-2. Concreto Auto-Adensável - Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 15823-5. Concreto Auto-Adensável - Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 5738. Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura dos Corpos de prova. Rio de Janeiro, 2008.

NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

NBR NM 23. Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

NBR NM 248. Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

NBR NM 53. Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro; 2009.

NBR NM 76. Cimento portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade do ar (Método Blaine). Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

OKAMURA, Hajime; OUCHI, Masahiro. Self-compacting concrete. **Development, present use and future.** Edição: A. Skarendahl; O. Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 1st, 1999, Stockholm. Proceedings... France: RILEM Publications, 1999. p. 3-14.

OLIVEIRA, Ronaldo Sabino de. **Concreto auto adensável: solução ou modismo,** 2011.

QUIMICA, Liga indústria. Disponível em <https://www.ligaquimica.com.br/pre-moldados.php> acesso em: 07 de nov. 2021.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Capanema. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2008.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Métodos para dosagens de concreto auto-adensáveis.** Dissertação de Mestrado, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2004