

# Análise da Influência do Teor de Argamassa nas Propriedades Mecânicas e Reológicas do Concreto Autoadensável

*Analysis of the influence of mortar content on the mechanical and rheological properties of the self-compacting concrete*

Lucas da Silva Barboza <sup>1</sup>  [orcid.org/0000-0003-0027-9104](https://orcid.org/0000-0003-0027-9104)

Wállison Almeida de Oliveira <sup>2</sup>  [orcid.org/0000-0003-3910-3114](https://orcid.org/0000-0003-3910-3114)

Diego Azevedo Souza <sup>2</sup>  [orcid.org/0000-0002-9685-2181](https://orcid.org/0000-0002-9685-2181)

Ligriarno Coutinho de Souza <sup>2</sup>  [orcid.org/0000-0003-3263-6743](https://orcid.org/0000-0003-3263-6743)

<sup>1</sup> Professor Doutor do Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP, Curso de Engenharia Civil, Engenheiro Coelho, São Paulo, Brasil,

<sup>2</sup> Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP, Engenheiro Coelho, São Paulo, Brasil,

E-mail do autor principal: Lucas da Silva Barboza [lucas.barboza@unasp.edu.br](mailto:lucas.barboza@unasp.edu.br)

## Resumo

---

As características essenciais do Concreto Autoadensável (CAA) são regidas principalmente pela pasta e pela argamassa. Diante disso, este trabalho teve como objetivo analisar a influência que o volume de argamassa exerce sobre o CAA. Para tal, foram elaboradas dosagens de concreto com volumes de argamassa de 57%, 61%, 65% e 69%, em que foram verificadas no estado fresco (caixa L, Funil V, *slump-flow test*) e no estado endurecido. Empregou-se o método de Gomes (2002) no desenvolvimento das dosagens, o qual divide o concreto em duas fases: a pasta e o esqueleto granular. Os resultados obtidos mostraram que concretos produzidos com maiores volumes de argamassa são menos viscosos e têm melhor fluidez. A resistência inicial do concreto foi diretamente proporcional ao consumo de cimento, enquanto a taxa de ganho de resistência foi inversamente proporcional. O concreto que apresentou maior módulo de elasticidade foi aquele composto pelo menor volume de argamassa, enquanto a maior resistência foi obtida com teor de 61%. Portanto, o volume de argamassa exerceu influência significativa sobre o CAA.

**Palavras-Chave:** Concreto autoadensável; Teor de argamassa; Teor de pasta; Resistência à compressão.

## Abstract

---

*The essential characteristics of self-compacting concrete (SCC) are mainly regulated by mass and clay. Therefore, this study aimed to analyze the influence of the mortar volume exerted on the SCC. For this, concrete dosages were prepared with mortar volumes of 57%, 61%, 65% and 69%, in which they were verified in the fresh state (box L, Funnel V, slump-flow test) and in the hardened state. The Gomes dosage development method was used, which divides the concrete into two separate phases: a mass and a granular skeleton. The results show that concretes produced with*

*larger mortar volumes are less viscous and have better flowability. The initial strength of the concrete was directly proportional to the cement consumption, while the strength gain rates were inversely proportional. The concrete with the highest modulus of elasticity was composed by the lowest volume of mortar, while the highest strength was applied with 61% content. Therefore, the mortar volume had a significant influence on the SCC.*

**Key-words:** *Self-compacting concrete; Mortar content, paste content; Compressive strength.*

## 1 Introdução

O Concreto Autoadensável (CAA) é um material inovador na indústria da construção civil. Nos últimos anos, ele tem sido empregado com sucesso em muitos projetos ao redor do mundo e representa um novo conceito com relação ao uso do concreto nessa indústria. Seu emprego, em escala cada vez maior, se deve às vantagens que suas propriedades oferecem, pois possibilita concretagens mais rápidas se comparado ao Concreto Convencional (CCV).

A inserção do CAA no mercado representou um grande avanço tecnológico. Seu advento proporcionou uma melhor qualidade do concreto produzido e um processo de construção mais rápido e econômico [1]. De acordo com Tutikian e Pacheco [2], devido à sua capacidade de autopreenchimento, esse tipo de concreto contribui para a economia com mão de obra e energia elétrica, uma vez que não é necessário o uso de vibradores.

O que difere o CAA do CCV é a sua propriedade de se auto nivelar e isso se deve ao emprego de adições e aditivos, por isso é essencial entender o que afeta o comportamento do concreto no estado fresco, o qual é regido pela composição da pasta, volume de pasta, e distribuição granulométrica de agregados [3].

O uso de superplastificantes e agentes de viscosidade é o que possibilita a obtenção de concretos com alta fluidez e melhor coesão, evitando a segregação dos componentes da mistura no momento da concretagem [4]. Segundo Gomes [3], a capacidade de preenchimento, capacidade de passagem e estabilidade do CAA são suas principais propriedades no estado fresco e esses requisitos funcionais não são comuns ao concreto convencional, sendo tratados por meio de testes específicos.

Ao tratar dessas propriedades, Okamura e Ouchi [5] afirmaram que é necessária uma deformabilidade suficiente da argamassa para que o concreto possa ser

adensado sem necessidade de vibração. Além disso, uma viscosidade moderada e uma boa deformabilidade da fase de argamassa são necessárias para que o deslocamento relativo entre as partículas de agregado graúdo diante dos obstáculos possa ser reduzido e a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa evitada.

Desde o desenvolvimento do primeiro método de dosagem de CAAs, Gomes (2002) [3], Tutikian (2004) [6] e outros pesquisadores se dedicaram a estudar suas propriedades, a propor novos métodos de dosagem e a entender como os métodos específicos de mistura determinam os fatores que ditam o comportamento do CAA [7].

Manuel [8], empregando o método de Tutikian [6], verificou a viabilidade técnica e econômica da produção de CAAs com diferentes teores de argamassa. Em seu estudo, o autor concluiu que o teor ideal estava entre 54% e 60% de argamassa. Porém, não há um consenso nas pesquisas científicas, pois apresentam notável variação desses teores.

Observou-se na literatura internacional que esses valores se encontram num intervalo bem amplo que vai de 58,8% [9] a 79,8% [10]. Porém acredita-se que a redução do teor de argamassa pode resultar num menor consumo de pasta de cimento e gerar economia, por isso há relevância em seu estudo.

Barboza [11] mostrou que é possível, empregando-se o método de Gomes [3], produzir concretos autoadensáveis eficientes com baixo consumo de cimento. Enquanto Pelisser, Vieira e Michael [12] indicaram que as adições minerais podem substituir parte do cimento empregado, resultando em concreto de baixo custo, menor impacto ambiental e melhor durabilidade.

Nesse contexto, analisou-se a influência do teor de argamassa nas propriedades do CAA no estado fresco e endurecido, aplicando-se o método de dosagem

proposto por Gomes [3]. A variação do teor de argamassa ocorreu em função do volume de pasta, sendo que os concretos produzidos deveriam atender aos limites normativos quanto à classe de agressividade ambiental II da ABNT NBR 12655: 2015 [13].

Ressalta-se que o teor de argamassa nessa pesquisa é o produto entre a relação água/cimento e a proporção dos agregados utilizados em paridade ao cimento (kg/kg).

## 2 Materiais e Métodos

Nessa seção serão apresentados os materiais utilizados e os métodos empregados na produção dos concretos em estudo.

### 2.1 Materiais utilizados

Para a produção dos concretos optou-se por empregar agregados e cimento facilmente encontrados nas proximidades da cidade de Engenheiro Coelho (SP), pois a pesquisa foi realizada nessa localidade.

Os materiais foram caracterizados e, a partir das informações obtidas nos ensaios, definiu-se a dosagem dos concretos estudados. A seguir são descritos os materiais empregados, assim como suas propriedades.

#### 2.1.1 Agregado graúdo

O agregado natural britado utilizado é de origem basáltica e tem dimensão máxima característica 9,5 mm, classificado como 4,75/12,5 (d/D) e módulo de finura equivalente a 5,84, conforme a ABNT NBR NM 248: 2003 [14]. A partir dos ensaios obteve-se a massa específica do agregado seco igual a 2,86 g/cm<sup>3</sup>, conforme a ABNT NBR NM 53: 2009 [15], massa unitária em estado solto de 1,47 g/cm<sup>3</sup>, índice de vazios de 48,84% segundo a ABNT NBR NM 45: 2006 [16], e absorção de água de 1,33%.

#### 2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo é proveniente de cava de rio e tem as seguintes características granulométricas: areia muito fina, dimensão máxima característica igual a 0,6 mm, módulo de finura 1,55, conforme a

ABNT NBR NM 248: 2003 [14]. Ao fim da caracterização obteve-se massa específica do agregado seco igual a 2,65 g/cm<sup>3</sup> segundo a ABNT NBR NM 52: 2009 [17], massa unitária em estado solto de 1,47 g/cm<sup>3</sup> e índice de volume de vazios de 44,12% conforme a ABNT NBR NM 45: 2006 [16].

#### 2.1.3 Cimento

Foi utilizado o cimento CPII Z 32, o qual apresentou massa específica de 2,93 g/cm<sup>3</sup> conforme ABNT NBR 16697: 2018 [18]. Esse tipo de cimento é bastante empregado na região onde a pesquisa foi realizada e, portanto, facilmente encontrado comercialmente. Estes fatores foram determinantes na escolha desse material.

#### 2.1.4 Adições minerais

Empregou-se duas adições minerais na produção do CAA: sílica ativa e filer de calcário.

A sílica ativa empregada tem as seguintes propriedades: massa específica de 2,22 g/cm<sup>3</sup>, superfície específica (BET) de aproximadamente 19000 m<sup>2</sup>/kg e teor de SiO<sub>2</sub> > 90%. A sílica ativa utilizada tem retenção na peneira #325 (abertura de 45 µm) inferior a 10%.

O filer de calcário foi fornecido pela empresa BRASIL MINAS® e apresenta coloração branca, com diâmetro médio de 45 µm. Segundo o fornecedor, as características químicas são: 55,17% de CaO, 0,13% de MgO, 0,07% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,30% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 0,77% de SiO<sub>2</sub>.

#### 2.1.5 Superplastificante

Foi empregado aditivo superplastificante ADVA™ CAST 525, o qual é considerado um aditivo de última geração baseado em policarboxilatos e é utilizado a fim de se alcançar melhor trabalhabilidade no concreto. Esse aditivo tem cor alaranjada e densidade média de 1,056 g/cm<sup>3</sup>, segundo a fabricante GRACE®.

## 2.2 Método de dosagem do CAA

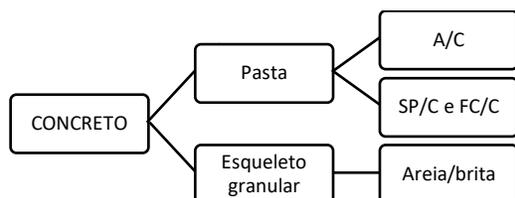
Dentre os métodos de dosagem existentes optou-se pelo método desenvolvido por Gomes [3]. Segundo o autor, o concreto autoadensável pode ser produzido

otimizandose-se separadamente as duas fases que o compõem: a pasta e o esqueleto granular (agregados).

Barboza [19] afirmou que a pasta de cimento é o maior responsável pelo comportamento reológico do CAA. O primeiro passo para a otimização da pasta é determinar a relação Água/Cimento (A/C), em seguida deve se estabelecer as relações Superplastificante/Cimento (SP/C) e Fíler Calcário/Cimento (FC/C).

A definição do esqueleto granular consiste na obtenção da relação agregado miúdo/grauído que resulte em maior massa unitária e menor índice de vazios. Presume-se que quanto menor for o índice de vazios menor será o volume de pasta de cimento empregado.

As etapas necessárias para a produção de CAAs podem ser observadas na Figura 1.



**Figura 1:** Etapas da dosagem do CAA.  
Fonte: Autores.

### 2.2.1 Definição do teor de aditivo – Etapa pasta

Para a definição do teor ótimo de aditivo superplastificante foram analisadas pastas de cimento produzidas com 10%, 20%, 30% e 40% de filer calcário e 10% de sílica ativa, valor recomendado por Gomes [3] e verificou-se o ponto de saturação do aditivo por meio dos ensaios de Funil Marsh e ensaio de miniabatimento. O tempo de escoamento da pasta foi definido empregando-se o ensaio do Funil Marsh e por meio do ensaio de miniabatimento determinou-se o abatimento para 10 minutos com A/C de 0,4 segundo a ABNT NBR 13276: 2016 [20]. Os resultados obtidos nas quatro análises são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Ensaios de miniabatimento e fluidez para relação a/c 0,4.

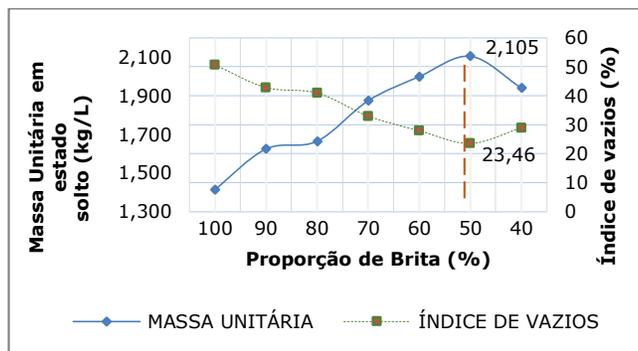
Propriedades			Resultados	
SA (%)	FC (%)	SP (%) Saturação	Espalhamento (mm)	T <sub>115</sub>
10	10	1,20	175,05	2,0
10	20	1,60	206,15	1,5
10	30	1,50	190,75	1,0
10	40	2,00	189,00	2,0

Sendo: T<sub>115</sub> o tempo em segundos para a pasta ultrapassar o diâmetro de 115 mm.

Após os ensaios, observou-se os seguintes teores ideais para a pasta de cimento: sílica ativa/cimento de 10%, FC/C de 40%, SP/C de 2%. O ensaio de miniabatimento resultou em um abatimento de 189 mm, e obteve-se um tempo de espalhamento (T<sub>115</sub>) de 2 segundos. Esses resultados estão dentro dos intervalos recomendados por Gomes (2002), 180 ± 10 mm para o abatimento e 3 ± 1 segundos para o T<sub>115</sub>.

### 2.2.2 Definição do esqueleto granular

Realizou-se a composição do esqueleto granular a fim de descobrir as relações entre os agregados e o teor de vazios existentes. Essas informações foram obtidas por meio do ensaio de massa unitária no estado solto, conforme o método C da ABNT NBR NM 45: 2006, empregando-se diferentes relações agregado grauído/agregado miúdo. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 2.



**Figura 2:** Empacotamento e índices de vazio.  
Fonte: Autores.

Analisando-se os resultados, verificou-se que a mistura que apresentou maior massa unitária igual a

2,105 kg/L e menor índice de vazios de 23,46% foi aquela composta por 50% de agregado miúdo e 50% de agregado graúdo. Portanto, foi essa a proporção entre os agregados empregada na elaboração dos concretos autoadensáveis desse estudo.

### 2.2.3 Dosagem dos CAAs

Nesta pesquisa, definiu-se como referência os limites para a classe de agressividade ambiental tipo II apresentados na ABNT NBR 12655: 2015 [13]. De acordo com essa norma, o concreto deve ter as seguintes características: consumo mínimo de cimento de 280 kg/m<sup>3</sup>, relação água/cimento menor que 0,6 e resistência à compressão aos 28 dias  $\geq$  30 MPa.

Para alcançar o objetivo da pesquisa, foram elaboradas quatro dosagens de concreto com teores de argamassa variando a cada 4%, sendo essa variação em função do teor de pasta na mistura. Os concretos foram produzidos com os volumes de argamassa entre 57% e 69%, esse intervalo foi escolhido com base na pesquisa de Manuel [8] que indicou o teor ideal próximo desses valores.

O teor de argamassa do concreto pode variar em função do consumo de areia e/ou do volume de pasta, neste estudo optou-se por uma análise somente em função do volume de pasta. Ao variar o volume de pasta, torna-se possível verificar a influência do consumo de cimento nas propriedades mecânicas do CAA e, além disso, mantém-se a composição do esqueleto granular conforme previsto no ensaio de empacotamento dos agregados.

As nomenclaturas utilizadas para as dosagens apresentam inicialmente o tipo de concreto por meio das siglas CAAT (Concreto Autoadensável com Teor) e por fim por meio de um numeral, o teor de argamassa. Como por exemplo, CAAT 57, trata-se de um concreto autoadensável com teor de argamassa de 57%.

Foram utilizados os mesmos materiais para as quatro dosagens a fim de evitar novas variáveis para análise, o consumo de cada componente dos CAAs é apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Consumos de materiais em kg/m<sup>3</sup>.

Materiais	CAAT57	CAAT61	CAAT65	CAAT69
Cimento	325,48	466,58	575,11	651,09
Agregado Miúdo	962,55	783,79	646,28	550,03
Agregado Graúdo	962,55	783,79	646,28	550,03
Sílica Ativa	32,55	46,66	57,51	65,11
Fíler Calcário	130,19	186,63	230,05	260,44
Aditivo	19,53	16,33	14,38	13,02
Água	130,19	186,63	230,05	260,44

Na Tabela 3 é apresentada a variação do consumo de cimento em função do volume de pasta e os teores de superplastificante.

**Tabela 3:** Parâmetros de dosagem.

Parâmetros	CAAT57	CAAT61	CAAT65	CAAT69
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	325,50	466,55	575,06	651,09
água/aglomerante	0,36	0,36	0,36	0,36
SP/C (%)	6,00	3,50	2,50	2,00
Vol. de pasta (%)	30,00	43,00	53,00	60,00

- SP/C é a relação Superplastificante/Cimento

Os concretos foram produzidos em betoneira com capacidade de mistura de 320 L e rotação do tambor de 28 rpm, empregando-se os procedimentos de mistura apresentados por Gomes [3]. Primeiro, o agregado graúdo mais 3/4 da água total de amassamento (água para a pasta e saturação dos agregados) foram lançados na betoneira e misturados por 30 segundos; em seguida foram adicionados o cimento, a sílica ativa, o pó de calcário, o superplastificante e o restante da água e misturados por 120 segundos; por fim, o agregado miúdo foi adicionado e misturado por tempo suficiente para que a mistura apresentasse homogeneidade.

Na análise da pasta determinou-se teor de aditivo de 2% para todas as dosagens, porém no momento da produção dos concretos verificou-se que o concreto CAAT57 não apresentou boa trabalhabilidade com esse teor, por isso foi necessário aumentar a quantidade de aditivo para 6% visando melhorar essa propriedade. Nos concretos CAAT61 e CAAT65 também houve necessidade de reajuste do teor de superplastificante, pois não apresentavam as propriedades exigidas para serem considerados autoadensáveis ao teor de 2%.

Cabe ressaltar que o concreto CAAT57 teve o processo de pega retardado devido ao excesso de aditivo, sendo necessários dois dias para o desmolde do corpo de prova. Isso pode ter afetado sua resistência nas idades iniciais.

### 3 Resultados e Análises

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no estudo do concreto autoadensável no estado fresco e endurecido.

#### 3.1 Concreto no estado fresco

Após verificada a trabalhabilidade do concreto ainda na betoneira, procedeu-se aos ensaios de estado fresco segundo a ABNT NBR 15823: 2017 [21], sendo eles: Caixa-L, Funil-V e *Slump flow test*. Nesses ensaios não foi utilizada nenhuma força externa no adensamento. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Resultados dos ensaios no estado fresco.

Propriedades	ABNT NBR NM 15823	CAAT 57	CAAT 61	CAAT 65	CAAT 69
<i>Slump flow test</i> , $d_f$ (mm)	$660 \leq d_f \leq 750$	685	835	750	665
$T_{500}$ (s)	> 2	06"06	04"69	02"02	03"51
Caixa L, H2/H1	$\geq 0,8$	0,82	0,82	0,93	0,83
Caixa L, $t_{20}$ (s)	-	03"60	03"16	01"20	03"20
Caixa L, $t_{40}$ (s)	-	06"54	04"55	03"40	06"24
Funil V, $t_v$ (s)	$9 < t_v < 25$	12"08	09"16	05"88	05"07

Sendo:  $d_f$  o espalhamento;  $t_{500}$  o tempo para um espalhamento de 500mm; H2/H1 a razão de bloqueio;  $t_{20}$  e  $t_{40}$  os tempos para atingir 20 cm e 40cm da Caixa L; e  $t_v$  o tempo de passagem pelo Funil V.

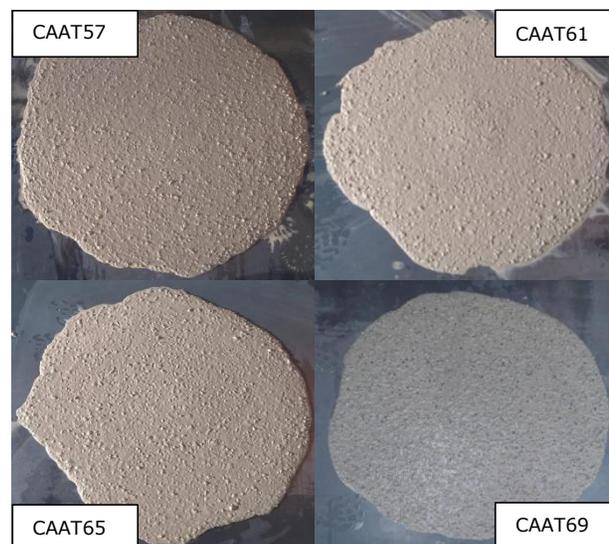
Os concretos apresentaram boa trabalhabilidade, fluidez e coesão. No ensaio de Funil V, observa-se que quanto maior for o teor de argamassa mais rápida é a passagem do concreto pelo funil, indicando melhor viscosidade do CAA [22]. Isso se justifica pela redução do atrito entre os agregados graúdos conforme se eleva o teor de argamassa, gerando uma melhor fluidez.

O ensaio de Funil V, além de dar uma boa indicação da viscosidade da mistura, também pode ser um indicativo de segregação. Um tempo de escoamento baixo indica boa capacidade ou facilidade de fluxo,

enquanto tempos altos significam alta viscosidade, bloqueio e tendência para segregar [3]. Pode se concluir, então, que o CAAT65 e o CAAT69, além de serem menos viscosos, têm o menor risco de segregação entre os traços produzidos.

Ao analisar as dosagens, observou-se que os concretos produzidos com menores teores de argamassa apresentam menor volume de pasta, conseqüentemente exigindo um consumo maior de superplastificante para atingir a condição ideal no estado fresco. Isso explica por que foi necessário um consumo de 6% de superplastificante para que o CAAT57 atingisse o *Slump Flow* ideal, enquanto para o CAAT69 foi necessário somente 2%.

No *Slump Flow Test*, que é empregado para medir a capacidade do CAA escoar pela ação do peso próprio, examina-se a aparência final da amostra de concreto em busca de sinais de segregação, os quais são manifestados pela separação da pasta ao redor do perímetro, presença de agregado graúdo sem argamassa e irregularidade na distribuição dos agregados graúdos [11, 23]. Na Figura 3 é possível verificar que as amostras de concreto analisadas apresentaram boa distribuição de agregados graúdos e sem excesso de água nas bordas, indicando a boa qualidade dos concretos e ausência de segregação.



**Figura 3:** Ensaio de *Slump flow test*.

Fonte: Autores.

Após a realização dos ensaios do concreto no estado fresco, foram moldados os corpos de prova (CPs), os quais passaram pelo processo de cura

submersa. A quantidade de CPs para cada ensaio será apresentada adiante.

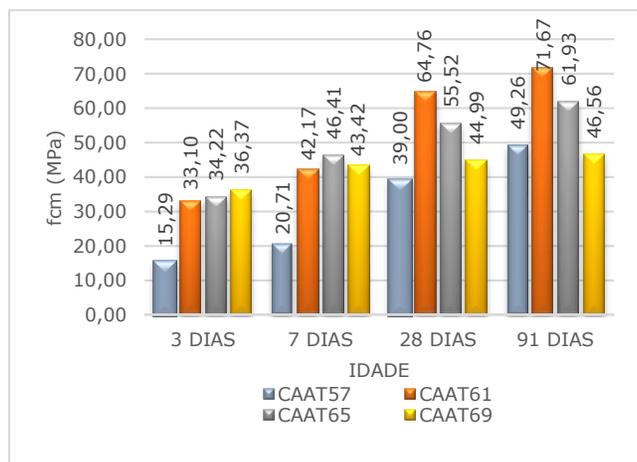
### 3.2 Concreto no estado endurecido

Nessa pesquisa foram analisadas as seguintes propriedades do concreto no estado endurecido:

- Resistência à compressão axial aos 3, 7, 28 e 91 dias;
- Resistência à tração (ensaio de tração por compressão diametral) aos 28 dias;
- Módulo de elasticidade dinâmico do concreto aos 28 dias.

#### 3.2.1 Resistência à compressão

Para cada dosagem foram produzidas 12 amostras, sendo 3 por idade analisada, desta forma totalizando 48 amostras. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados conforme a ABNT NBR NM 5739: 2018 [24] e com velocidade de carregamento igual a 0,5 MPa/s. Na Figura 4 são apresentadas as resistências médias obtidas em cada idade.



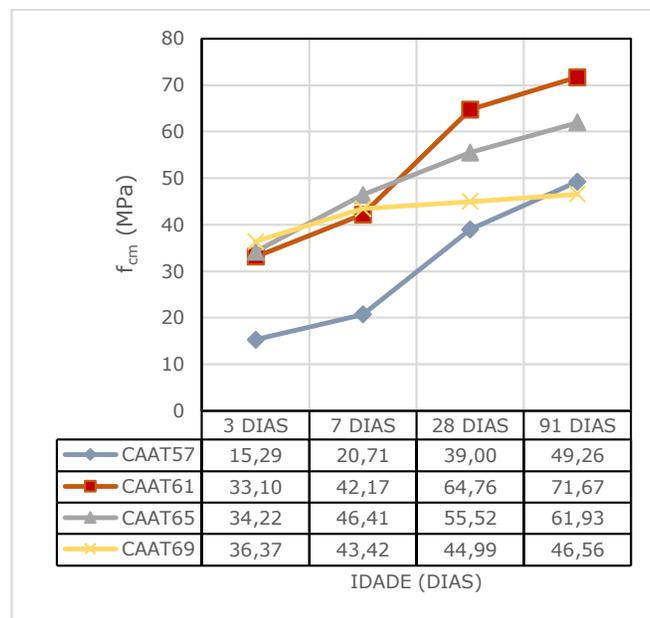
**Figura 4:** Resistências média à compressão.  
Fonte: Autores.

O concreto CAAT57 apresentou resistência bem inferior aos outros três traços na idade de 3 dias. Esse resultado era esperado, uma vez que esse traço foi produzido com teor de pasta de cimento de somente (30%), representando o menor consumo de cimento entre os concretos analisados. Contudo, deve-se salientar que essa amostra teve um tempo de pega superior às outras e isso afetou o ganho de resistência do concreto. Esse retardo no tempo de pega pode ser 28

explicado pelo excesso de aditivo (SP/C = 6%) empregado na produção desse traço de concreto.

Neville [25] observou que a adição repetida de superplastificante à mistura é benéfica em relação à trabalhabilidade, mas pode implicar nos efeitos colaterais de retardo da pega e alteração do teor de ar incorporado. Mehta e Monteiro [26] afirmaram que quantidades de aditivo maiores do que o normalmente necessário para o efeito plastificante ou redutor de água podem retardar o tempo de pega, evitando a formação de ligações dos produtos de hidratação.

Verificou-se, também, que na idade de 3 dias a resistência do concreto é diretamente proporcional ao teor de argamassa e, portanto, ao volume de pasta. Segundo Neville [25] quanto maior for o consumo de cimento, maior será a resistência nas primeiras idades. Esse fato ocorre porque mais cimento implica em maior área superficial total disponível para hidratação, resultando em um processo de hidratação mais rápido e, portanto, resistências mais elevadas nas idades iniciais [14]. Na Figura 5 é possível observar o ganho de resistência de cada dosagem.



**Figura 5:** Desenvolvimento da resistência à compressão ao longo do tempo.  
Fonte: Autores.

O intervalo que apresentou maior variação de resistência foi dos 7 aos 28 dias. Ao analisar a evolução da resistência à compressão dos 3 aos 91 dias, é interessante notar que enquanto o CAAT57 obteve um ganho de resistência equivalente a 2,22 vezes a resistência na idade de três dias, o CAAT69

## Análise da Influência do Teor de Argamassa nas Propriedades Mecânicas e Reológicas do Concreto Autoadensável

apresentou um incremento de somente 0,28 vezes sua resistência aos 3 dias de idade, conforme apresentado na Tabela 5.

O fato de o CAAT65 e o CAAT69 terem apresentado menor resistência que o CAAT61 pode ter ocorrido porque a resistência do concreto está associada à relação agregado/cimento, sendo que quanto maior for essa relação menor é o índice de vazios e maior a resistência [25]. Barbosa [19], empregando o método de Gomes [3], observou esse comportamento em CAAs ao verificar que utilizar um volume de pasta maior que o necessário para preencher os vazios do esqueleto granular ocasiona um aumento no índice de vazios e, conseqüentemente, resulta na perda de resistência do concreto, essa mesma situação foi observada nessa pesquisa.

Por fim, observou-se que o CAAT57, o qual apresentou o menor volume de pasta e conseqüentemente menor consumo de cimento, obteve resistência superior ao CAAT69 aos 91 dias. Isso pode ter ocorrido porque o aumento da quantidade de areia muito fina confere maior compacidade à pasta, indicando mais uma vez a influência da relação agregado/cimento na resistência do concreto [19]. Na Tabela 6 são apresentados os dados para avaliação estatística dos ensaios.

Ao avaliar a eficiência das operações de ensaio, verifica-se que a maior parte dos concretos se enquadraram no nível excelente ( $CVe < 3,00$ ), enquanto outros se situaram nos níveis muito bom ( $3,00 < CVe < 4,00$ ) e bom ( $4,00 < CVe < 5,00$ ) conforme a ABNT NBR 5739: 2018 [23]. Esses resultados mostram que houve pouca variabilidade entre as resistências obtidas nos corpos de prova de

**Tabela 6:** Características estatísticas da resistência à compressão axial.

Concreto	CAAT57				CAAT61			
	3	7	28	91	3	7	28	91
<b>Idade (dias)</b>								
<b>CP1 (MPa)</b>	15,64	21,62	35,86	50,79	32,67	41,93	68,43	76,43
<b>CP2 (MPa)</b>	14,96	18,12	43,92	44,55	33,90	37,30	62,58	67,94
<b>CP3 (MPa)</b>	15,26	22,40	37,23	52,43	32,73	47,28	63,28	70,63
<b>Média (MPa)</b>	15,29	20,71	39,00	49,26	33,10	42,17	64,76	71,67
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	0,13	0,84	1,59	1,55	0,24	1,96	1,15	1,67
<b>CVe (%)</b>	0,88	4,07	4,07	3,15	0,73	4,66	1,78	2,33
Concreto	CAAT65				CAAT69			
	3	7	28	91	3	7	28	91
<b>CP1 (MPa)</b>	33,29	47,05	58,47	59,69	35,41	48,94	45,18	43,60
<b>CP2 (MPa)</b>	31,87	45,77	48,19	60,26	36,96	41,85	44,81	49,22
<b>CP3 (MPa)</b>	37,49	-	59,89	65,84	36,74	39,50	-	46,85
<b>Média (MPa)</b>	34,22	46,41	55,52	61,93	36,37	43,42	44,99	46,56
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	1,11	0,57	2,30	1,21	0,31	1,86	0,17	1,11
<b>CVe (%)</b>	3,23	1,22	4,14	1,96	0,84	4,27	0,37	2,38

- CVe é o Coeficiente de variação

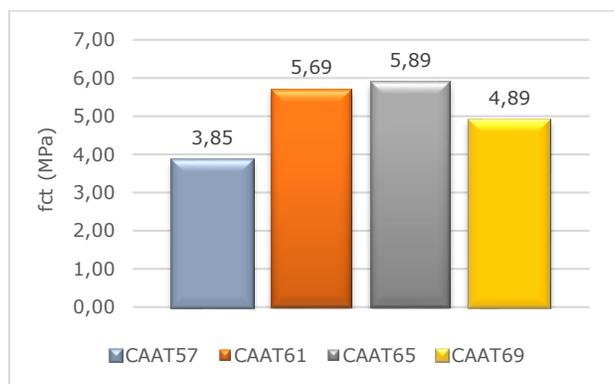
É importante salientar que se deve evitar consumos elevados de cimento na produção de concretos, como no caso do CAAT69, pois causam maior liberação de calor, maior retração do concreto e surgimento de fissuras, as quais permitem a entrada de agentes deletérios no concreto e prejudicam a sua durabilidade [25].

cada idade, indicando que os ensaios são estatisticamente aceitos.

### 3.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram realizados aos 28 dias conforme a ABNT NBR 7222:2011 [27] e constituído por 3 amostras, por idade, totalizando 12 amostras. As resistências médias obtidas são apresentadas na Figura 6.

Constatou-se que há uma tendência de ganho de resistência à tração conforme eleva-se o teor de argamassa e verificou-se que o CAAT69 obteve menos resistência que os traços intermediários, isso pode ter ocorrido pelos mesmos motivos apresentados na seção 3.2.1.



**Figura 6:** Resistência médias à tração por compressão diametral.

Fonte: Autores.

Pôde se observar, também, que os concretos apresentaram resistência à tração próxima a 10% da resistência à compressão, valor proposto na ABNT NBR 6118: 2014 [28], indicando que os resultados são confiáveis.

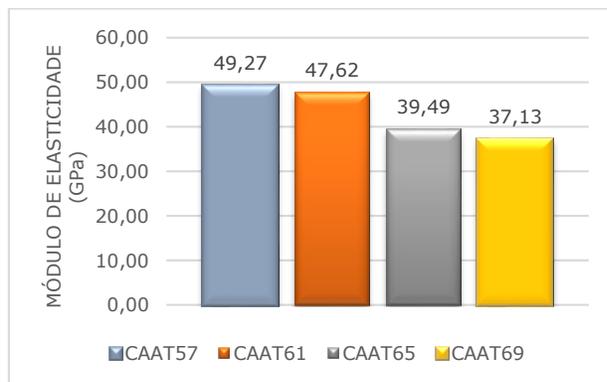
### 3.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Os ensaios de módulo de elasticidade dinâmico foram realizados aos 28 dias, seguindo procedimentos descritos na ASTM - C215: 2014 [29]. Foram analisados 5 corpos de prova por traço e adotado o valor médio. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7:** Resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias.

Concreto	CAAT57	CAAT61	CAAT65	CAAT69
CP1	49,16	48,46	40,05	35,06
CP2	49,60	46,95	40,09	37,22
CP3	49,59	46,73	39,56	38,31
CP4	49,61	48,65	37,26	37,21
CP5	48,39	47,33	40,48	37,87
<b>Média (GPa)</b>	49,27	47,62	39,49	37,13
<b>Desvio Padrão (GPa)</b>	0,53	0,88	1,29	1,25

Os resultados do módulo de elasticidade são apresentados graficamente na Figura 7.



**Figura 7:** Módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias.

Fonte: Autores.

Verificou-se que concretos com menor teor de argamassa têm módulo de elasticidade maior. Esse fato ocorre porque um menor volume de finos (menor teor de argamassa) implica uma quantidade maior de agregados graúdos, resultando em valores mais elevados para o módulo de elasticidade [30].

A quantidade de cimento empregada também afeta diretamente o módulo de elasticidade, pois quando o consumo de cimento aumenta há uma redução considerável do esqueleto granular, o qual possui módulo de elasticidade maior que o módulo da pasta de cimento [31]. Conforme visto na Figura 7, essa redução do esqueleto granular gerou uma diminuição significativa no módulo de elasticidade do concreto, ocasionando uma diferença de 12 GPas entre o teor de 69% e o de 57%.

O concreto CAAT57 foi o que obteve maior módulo de elasticidade porque concretos produzidos com baixo consumo de cimento resultam em misturas com

maior módulo de elasticidade, pois apresentam maior quantidade de agregados e menor volume de pasta [19].

Os resultados supracitados evidenciam a importância de o módulo de elasticidade ser especificado em projetos estruturais, pois elevados módulos de elasticidade não implicam altas resistências à compressão e vice-versa.

## 4 Conclusões

Com base nos ensaios e resultados apresentados, conclui-se que o teor de argamassa exerce influência sobre as propriedades do concreto autoadensável no estado fresco e endurecido da seguinte maneira:

- Elevados teores de argamassa resultam em concretos menos viscosos, com maior capacidade de passagem por obstáculos e menor tendência à segregação, conforme comprovado no ensaio do Funil V;
- Por outro lado, um elevado teor de argamassa não resulta necessariamente em maior capacidade de escoamento, uma vez que a quantidade de aditivo empregada nas dosagens é diferente e exerce influência sobre essa propriedade do CAA, como pôde se observar no *Slump flow test*; e
- Teores de argamassa elevados não provocam segregação no concreto, desde que o aditivo seja dosado corretamente.

Nesta pesquisa, os concretos produzidos com teor de pasta inferior a 40%, apresentaram problemas quanto ao ganho de resistência inicial, fato justificado pelo excesso de aditivo superplastificante na dosagem para se atingir a condição ideal no estado fresco. Contudo, ainda assim, apresentaram resistência superior à exigida na ABNT NBR 12655: 2015 [13] para a classe de agressividade II.

O concreto produzido com teor de argamassa de 61% apresentou maior resistência à compressão, esse valor está próximo do teor de 60% empregado por Manuel [8], o qual resultou nas maiores resistências em sua pesquisa. Além disso, esse concreto foi produzido com volume de pasta de 43%, valor bem próximo do volume de 40% recomendado por Gomes [3].

Por fim, constatou-se que a partir de determinado consumo de cimento não há aumento na resistência do concreto e, além disso, conforme eleva-se o volume de pasta ocorre redução do módulo de elasticidade. Os resultados dos ensaios corroboram a pesquisa de Barboza [11], na qual ficou evidente que um maior consumo de cimento não implica necessariamente em melhores propriedades mecânicas do CAA.

Diante da importância da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto em projetos estruturais, entende-se que esse estudo é relevante porque mostrou como essas propriedades do concreto são afetadas pela alteração tanto no volume de argamassa quanto no teor de pasta do CAA. Além de ter indicado, também, como a quantidade dos componentes do CAA influenciam as suas propriedades no estado fresco.

## Referências

- [1] SONEBI, M. Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. *Cement and concrete research*, n. 34, p. 1199 – 1208, 2004.
- [2] TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. Concreto autoadensável (CAA) - comparativo entre métodos de dosagem. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 5, n. 4, p. 500-514, ago/set. 2012.
- [3] GOMES, P. C. C. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. 2002. Thesis (Doctoral) - Universitat Politècnica De Catalunya, Barcelona, 2002.
- [4] BARRAK, M.; MOURET, M.; BASCOUL, A. Self-compacting concrete paste constituents: Hierarchical classification of their influence on flow properties of the paste. *Cement and Concrete Composites*, v. 31, p. 12–21. 2009.
- [5] OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Technology*, v. 1, n. 1, p. 5-15. 2003.
- [6] TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concretos autoadensáveis. 2004. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

[7] NANTHAGOPALAN, P.; SANTHANAM, M. Experimental investigations on the influence of paste composition and content on the properties of Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 11, p. 3443-3449. 2009.

[8] MANUEL, P. J. M. Estudo da Influência do Teor de Argamassa no Desempenho de Concretos Autoadensáveis. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

[9] RAVINDRARAJAH, S.; FARROKHZADI, F.; LAHOUD, A. Properties of flowing concrete and self-compacting concrete with high-performance superplasticizer. In: *PROCEEDINGS OF THE 3TH INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM*, 3., Reykjavik, 2003. Reykjavik: RILEM, v. 1, 1048 p.

[10] CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Durable fiber reinforced self-compacting concrete. *Cement and Concrete research*, n. 34, p. 249-254, 2004.

[11] BARBOZA, L. S. Estudo sobre o impacto da redução do consumo de cimento no comportamento mecânico do concreto autoadensável. 2016. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

[12] PELISSER, F., VIEIRA, A., MICHAEL, A. Efficient self-compacting concrete with low cement consumption. *Journal of Cleaner Production*, v. 175, p. 324-332, fev. 2018

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655. Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. ABNT, 2015.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

[19] BARBOZA, B. L. Produção de concretos autoadensáveis com baixo consumo de cimento e sua influência na aderência aço-concreto. 2018. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823. Concreto autoadensável. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

[22] ALENCAR, R.; HELENE, P.; HONDA, J. Trabalhabilidade do Concreto Autoadensável: Ensaio para dosagem, controle de qualidade e aceitação em obra. *Revista Concreto & Construções*, São Paulo, n. 51, p. 73 - 85, 2008.

[23] BARTOS, P. J. M., Key Properties of Fresh Self-compacting Concrete: A case for Standardization. In: *PROC. SEMINAR ON SELF-COMPACTING CONCRETE*, Malmö, 2000. p. 21-26.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520. Concreto - Ensaio de compressão com corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

**[25]** NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman. 2016. 946 p.

**[26]** MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: IBRACON. 2014. 751p.

**[27]** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222. Argamassa e concreto: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

**[28]** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

**[29]** AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C-215 "Dynamic Modulus of elasticity". West Conshohocken, PA: ASTM, 2014.

**[30]** HOLSCHMACHER, K. Hardened material properties of self-compacting concrete. Journal of civil engineering and management, v. 10, n. 4, 261-266, 2004.

**[31]** MELO NETO A. A.; HELENE, P. R. L. Módulo de Elasticidade: Dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., Belo Horizonte, 2002. Anais... Belo Horizonte: IBRACON.