

Literary Study Of The Dosage Of Self-Strengthenig Concrete With Addition Of Active Silica

Gudinho, D. S. ¹; Bueno, K. N. G. S. ²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Silva, R. V. ³

Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ daisasoares123@gmail.com; ² karolynegarcez@gmail.com; ³ virgilio@pucgoias.edu.br

RESUMO: O concreto autoadensável (CAA) foi conceituado pelo Prof. Okamura na Kochi University e teve origem no Japão em 1986, ele tem uma capacidade de preencher as fôrmas e passagem entre as armaduras sem o auxílio de vibradores de imersão usando somente seu peso próprio e é caracterizado por três propriedades: fluidez, resistência a segregação e capacidade passante. O objetivo desta pesquisa é determinar a faixa ideal de adição de sílica ativa (SA) no concreto autoadensável (CAA) e sua viabilidade no comércio goiano. No Brasil, seu uso ainda não está totalmente disseminado, mas conforme revisão literária, se mostra viável, em razão de suas características de otimizar e facilitar a aplicação e apresentação de resultados mecânicos similares ou superiores ao concreto convencional. Em contrapartida o custo de seus insumos é maior em virtude da demanda pelo incremento com adições de algum tipo de adição pozolânicas e maior teor de aditivos ou ainda uso de aditivo modificador de viscosidade. O mercado goiano possui viabilidade de uso do CAA pois os insumos necessários ao seu incremento existem disponíveis em lojas especializadas e concreteiras da região.

Palavras-chaves: Concreto autoadensável; Sílica ativa; resistência à compressão; Estudo literário de dosagens; composição de custo.

ABSTRACT: Self-compacting concrete (SCC) was conceptualized by Prof. Okamura at Kochi University and originated in Japan in 1986, it has the ability to fill the forms and pass between the reinforcements without the aid of immersion vibrators using only its own fastener and is characterized by three properties: fluidity, resistance to segregation and passing capacity. The objective of this research is to determine the ideal range of silica fume (SA) addition in self-compacting concrete (SCC) and its viability in the Goiás trade. In Brazil, its use is not yet fully disseminated, but according to a literature review, it is viable, due to its characteristics of optimizing and facilitating the application and presentation of mechanical results similar or superior to conventional concrete. On the other hand, the cost of its inputs is higher due to the demand for increment with the addition of some type of pozzolanic addition and a higher content of additives or the use of a viscosity-modifying additive. The Goiás market has the feasibility of using the CAA because the necessary inputs for its increase are available in specialized stores and concrete companies in the region.

Keywords: self-compacting concrete; Active silica; compressive strength; Literary study of dosages; cost composition.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil, 02 – Estruturas.

1 INTRODUÇÃO

Cresceram nos últimos anos, estudos acerca da obtenção de concretos que melhorem os processos de construção. A aplicação de concretos convencionais em estruturas com alta densidade de armadura, ou baixa efetividade no bombeamento, em decorrências de concretagens complexas, vem exigindo que os profissionais da construção civil invistam em concretos especiais. O concreto autoadensável (CAA) configura

um progresso dessa técnica, capaz de proporcionar benefícios tecnológicos (possibilitam o uso de variados moldes e/ou taxas elevadas de aços); e econômicos (redução de custo com mão de obra e ampliação da produtividade) (CAMPOS, 2013) (NUNES; COLLEPARDI, 2001). Esse concreto só se tornou executável a partir da aparição dos aditivos superplastificantes, que o deixa mais fluido sem a

adição de água em excesso (METHA; MONTEIRO, 2008).

As indústrias de pré-moldados e os canteiros de obras tiveram uma melhora na produtividade do trabalho com autoadensáveis de acordo que os estudos progrediram (GRUNEWALD, 2004). No entanto, quando comparado ao concreto convencional, as modificações no traço para deixá-lo mais fluido proporcionam alterações em sua estrutura. A principal diferença entre esses dois concretos são suas propriedades reológicas. E essas características possuem uma maior proporção de cimento-agregado, do que o teor usualmente usado no concreto convencional (METHA; MONTEIRO, 2008).

As alterações no proporcionamento fazem com que esse concreto garanta a auto compactação, e modificaram as suas propriedades mecânicas. A transformação do comportamento se amplia desde a resistência mecânica até sua deformabilidade (TUTIKIAN, 2011).

As características do concreto convencional no estado fresco e endurecido são distintas daquelas do CAA, esse deve ter elevada fluidez e ao mesmo tempo equilíbrio da mistura, portanto, possui aspectos como a eficácia de preenchimento de vazios e maior capacidade de transpor obstáculos (PELLISSER; VIEIRA; BERNARDIN, 2018). Essa categoria de concreto é um progresso do concreto tradicional de cimento Portland, e sua aplicação propicia alta qualidade e durabilidade, colaborando para a sustentabilidade do sistema construtivo. No entanto, com intenção de garantir a alta liquidez do CAA, e que não haja segregação, é adicionada uma grande quantidade de pó fino ou elementos adesivos para garantir a qualidade do produto. O consumo de cimento do CAA pode atingir uma faixa de 450 kg/m³ a 600 kg/m³ (SUKUMAR; NAGAMANI; RAGHAVAN, 2008).

Em trabalhos elaborados com CAA dosados com substituição parcial do cimento por algum tipo de adição mineral, pode-se citar o exemplo das pesquisas dos seguintes autores: Sukumar, Nagamani e Raghavan (2008), que usaram cinza volante, cujo consumo de cimento foi de 250 kg/m³, e obteve resistência à compressão de 39,6 MPa. Vejmelkova *et al.* (2011), utilizaram o metacaulim e um uso de cimento de 364 kg/m³ obtiveram uma resistência à compressão de 67,7 MPa. Já Barboza e Almeida Filho (2018), aplicaram sílica ativa e calcário como preenchedores, e o consumo de cimento foi de 347,25 kg/m³, o que

sucedeu numa resistência à compressão de 52,15 MPa. Pelisser, Vieira e Bernardin (2018), aplicaram no agrupamento de cinza volante e metacaulim, o consumo de cimento foi de 240 kg/m³ e alcançaram resistência à compressão de 28,6 MPa. Os resultados demonstraram a eficiência e boa relação do uso de adições em CAA, ao alcançar, em sua maioria, elevados índices de resistência à compressão e harmonia na produção de concretos autoadensáveis.

A pesquisa verificou e analisou a influência da adição da sílica ativa no concreto autoadensável, com indicação da faixa ideal de adição de sílica ativa no concreto autoadensável, de modo a proporcionar a melhora das propriedades mecânicas e físicas, e demonstrou a viabilidade de sua utilização no mercado goiano.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto Autoadensável

Conforme a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem - ABESC, o termo concreto Autoadensável - CAA aponta uma categoria de concreto que pode ser adaptado em fôrmas que preenche cada espaço vazio por meio de seu peso próprio, sem necessitar de qualquer tecnologia de adensamento ou vibração externa, permitindo que ele penetre ajustado ao longo das armaduras.

De acordo com o Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, o CAA é uma técnica promissora às situações solicitadas pelas construções de habitações de interesse social, visto que a sua produção compreende baixo consumo de cimento e vantagem na produtividade, logo isenta o adensamento em canteiro de obras e assegura a moldagem apropriada de componentes estruturais com pequenas dimensões e alta densidade de armaduras.

O CAA é um tipo especial de concreto caracterizado pela baixa relação água/cimento, uma alta taxa de finos, em que uma das opções é a adição de filer de calcário na mistura, e uma baixa taxa de agregados graúdos, combinada com a introdução de aditivos superplastificantes. Estas características subsidiam a obtenção de um CAA com alto nível de fluidez que, em razão do seu peso próprio alcança uma excelente solidificação com baixa exsudação e segregação (SÁNCHEZ *et al.*, 2016).

O concreto Autoadensável tem baixa tensão de escoamento, alta deformabilidade, boa resistência à segregação e viscosidade moderada, a fim de garantir uma suspensão uniforme de partículas sólidas durante o transporte. O CAA é uma mistura altamente fluida com as seguintes características: ele flui muito facilmente dentro e ao redor da fôrma, pode fluir através de obstruções e em torno dos cantos, não requer vibração ou compactação após o vazamento e segue o formato e a textura da superfície de um molde. O CAA exige menos trabalho, em comparação ao concreto convencional, pois não demanda vibração para eliminar bolhas de ar, reduzindo assim mão de obra, tempo e possível fonte de problemas técnicos e de controle de qualidade (DEY *et al*, 2021).

A NBR 15823 (ABNT, 2017) registra que o CAA é capaz de preencher a fôrma e passar por lugares preenchidos com armaduras e dutos, sem isolar o fluxo, conservando sua homogeneidade nos períodos de mistura, transportação, lançamento e acabamento.

O CAA foi conceituado em 1986 pelo Prof. Okamura na Kochi University, Japão, em uma época em que a mão de obra qualificada era limitada causando dificuldades nas indústrias relacionadas ao concreto (OKAMURA OUCHI, 2003). Uma das vantagens do CAA é melhor acabamento das superfícies, menos poluição sonora, excelente qualidade dos elementos concretados, elevada impermeabilidade e durabilidade dos elementos estruturais (DE LA PEÑA RIQUELME, 2000).

Atualmente, uso do CAA cresceu significativamente na Europa, tanto na indústria de pré-moldados quanto na construção convencional. Grande parte da indústria de concreto tem adotado o CAA como solução para otimizar a produção, principalmente durante a concretagem, deslocando trabalhadores libertos para outros setores. No Brasil, a primeira grande concretagem com CAA, só aconteceu em 2004, em Goiânia (CAMPOS, 2013).

Embora haja mudanças nas proporções de mistura, uma das principais características do CAA é o uso de plastificantes e superplastificantes em sua produção. As propriedades do CAA são amplamente afetadas por suas propriedades reológicas, como tensão de escoamento e viscosidade. Esses parâmetros reológicos são de suma importância na definição de sua usabilidade. A tensão de escoamento é a tensão de cisalhamento mínima necessária para o início do fluxo

e está relacionada ao estado de floculação ou dispersão das partículas (CARNEIRO, 2018).

2.2 Cimento Portland

A escolha do cimento é fundamental para a preparação do CAA, porque o cimento afetará a resistência da pasta-agregado. Todo o cimento Portland que atenda aos padrões e especificações técnicas regionais ou locais pode ser usado para produzir CAA. A escolha correta do tipo de cimento depende do local da aplicação, por exemplo, estrutura de um cais, indústria química, estação de tratamento de água ou esgoto, pavimentação de estradas e aeroportos, ou seja, depende dos requisitos específicos de cada aplicação (GOMES; BARROS, 2009). Antes de finalmente selecionar o cimento mais adequado, além de suas propriedades mecânicas, três outros requisitos importantes também devem ser atendidos: finura, composição química e compatibilidade com aditivos. Em modos de finura, quanto maior a área superficial específica em contato com a água, mais rápido o percentual de hidratação do cimento elevará sua resistência à compressão, especialmente nos estágios iniciais. Por outro lado, quanto mais fino o cimento, maior a quantidade de redutor necessária para atingir a mesma trabalhabilidade, pois a eficácia do aditivo é diretamente afetada pela finura do cimento (CARNEIRO, 2018).

2.3 Sílica Ativa - SA

As adições minerais são determinadas como sendo materiais siliciosos finamente moídos, capazes de serem incorporados ao concreto em quantidades parcialmente grandes, dessa forma, em substituição, na faixa de 20% da massa de cimento Portland. As adições minerais são incorporadas ao concreto com a função de obter propriedades específicas na mistura. Essas adições são geralmente aplicadas em grandes volumes, com a intenção de reduzir custos e melhorar a trabalhabilidade do concreto em seu estado reduzindo o calor de hidratação do concreto, principalmente nas primeiras idades, minimizando a ocorrência de fissuração térmica, a expansão álcali agregado e o ataque por sulfatos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A sílica ativa é um subproduto derivado do processo de fabricação das ligas de ferro silício ou silício metálico. A produção desses tipos de ligas se dá em fornos elétricos de fusão, modelo arco-voltaico em

temperaturas de 2000 °C aproximadamente. A sílica ativa, atualmente, vem sendo empregada na produção de concreto como adição pozolânica em razão de se obter concretos com propriedades melhoradas, elevando sua resistência e diminuindo sua permeabilidade. (SIDDIQUE, 2011).

Dentre os efeitos da sílica ativa nas propriedades de concreto no estado fresco, conforme Medeiros (2017), destacam-se a melhor coesão, garantindo misturas mais estáveis, o aumento da demanda de água, diminuição da retração plástica, o crescimento da fluidez do concreto e a redução da permeabilidade, garantindo maior durabilidade às estruturas.

3 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo bibliográfico, com utilização de métodos qualitativo e quantitativo. Esse método é importante para garantir a precisão e percepção dos resultados coletados, facilitando investigações bibliográficas por meio de artigos acadêmicos e científicos, livros e dissertações. Esta pesquisa baseou-se em trabalhos publicados em bancos de dados para discutir os tópicos de concreto autoadensável (CAA) com adição de sílica ativa.

Como critério, inicialmente buscou-se o tema concreto autoadensável com adição de sílica ativa, descartando os artigos que não estavam completos ou que não se relacionavam ao tema da pesquisa.

Com finalidade de determinar um proporcionalmente do concreto autoadensável (CAA) com adição de sílica ativa que não comprometesse a resistência a compressão, trabalhabilidade e durabilidade, foram selecionados do banco de dados 05 (cinco) trabalho e feito uma análise detalhada.

Para montagem das composições de custos foram utilizadas as tabelas de composição da GOINFRA – Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte e SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os levantamentos literários realizados acerca das melhorias proporcionadas pela adição de sílica ativa aos concretos autoadensáveis e análise das composições autoadensáveis.

4.1 Adição de SA

A sílica ativa utilizada em substituição de forma parcial ao cimento nos compostos cimentícios, proporcionou

um aumento significativo na resistência mecânica, havendo uma substituição do cimento por SA nas proporções 5%, 10%, 15% e 20% verificaram-se um acréscimo de até 36% na resistência à compressão dos concretos que têm relação água/ligante de 0,45 após os 28 dias de cura e até 11% em concretos com a relação água/ligante de 0,60, após os 90 dias de cura. A adição de SA na mistura possibilita um acréscimo na durabilidade do concreto quando exposto a cloretos e aumento da resistência à corrosão da armadura envolvida pelo concreto (AMARAL; MACIOSKI; MEDEIROS, 2021).

A finura da sílica ativa possui função primordial na melhoria das propriedades de fluidez do CAA, o que proporciona a produção de um material mais sustentável, pois possibilita a inserção de pó de pedra como material de enchimento. Inclusive os autores Chithra *et al.* (2019) evidenciaram que o percentual máximo de sílica ativa no CAA foi de até 7,5%, pois acima desse valor, verificou-se que a resistência à compressão diminuiu e isso pode ser devido ao aumento de vazios presentes na matriz de agregado graúdo formado por sílica ativa não hidratada. O nível ideal de adição de sílica ativa e pó de pedra, identificado pelo autor foi de 7,5% e 5%, respectivamente, em relação à massa de cimento e ao agregado fino.

Em estudo feito por Camargo (2016), foi notado um percentual ideal de sílica ativa a se adotar no concreto autoadensável. No entanto, essa quantidade depende da compatibilidade e da quantidade de materiais empregados, do desempenho esperado e das condições do ambiente de emprego do concreto. Os percentuais encontrados na pesquisa para emprego de sílica ativa foram de 5% a 30%. Entretanto, o percentual de 10% foi o mais indicado, pois acima desse percentual se identificou a ocorrência de exsudação.

4.2 Estudo literário de dosagens

Nos ensaios experimentais realizados pelos autores Sánchez, E. *et al.*, (2016), com acréscimo de 2,5% de sílica ativa sobre o cimento no CAA, não se observou exsudação e nem segregação. Os resultados adquiridos nos ensaios no estado fresco caracterizaram o concreto como autoadensável. A Resistência à compressão elevou indo de 60,33 MPa para 63,79 MPa, aos 28 dias de idade, os valores do módulo de elasticidade obtidos foram de 43,11 GPa para o concreto de referência e de 44,29 GPa para o concreto autoadensável e a resistência

à tração por compressão diametral foi de 5,46 MPa para o CR e 6,54 MPa para o CAA. Conforme demonstrado na Tabela 1 a relação água/ligantes foi a mesma.

Tabela 1 – Estudo de dosagem dos concretos

Componentes	Concreto Referência (CR)	Concreto autoadensável (CAA)
Cimento (kg/m ³)	450	450
Sílica ativa (kg/m ³)	-	11,25
Teor adicionado (%)	-	2,5
Água (kg/m ³)	162	166
Filler calcário (kg/m ³)	100	100
Areia (kg/m ³)	1160	1160
Pedregulho (kg/m ³)	585	585
SP ¹ (%)	2,0	2,3
MV ² (%)	0,15	0,15
A/L ³	0,36	0,36

1- Superplastificante, 2- Modificador de viscosidade e 3- Relação água/ligantes

Fonte: Sánchez, E. *et al.*, (2016).

Adaptada pelos Autores do Trabalho, (2022).

Os autores Faraj *et al.* (2021), obtiveram resultados significativos de resistência à compressão com a substituição de 10% do cimento por sílica ativa, a qual variou de 78,1 MPa para 82,7 MPa nos 28 dias de idade. Por meio do ensaio de fluxo de queda os pesquisadores constataram que não houve exsudação e segregação. De acordo com a Tabela 2 a relação água/ligante foi de 0,32 para as duas misturas.

Tabela 2 – Estudo de dosagem dos concretos

Componentes	Concreto Referência (CR)	Concreto autoadensável (CAA)
Cimento (kg/m ³)	440	385
Sílica ativa (kg/m ³)	-	55
Teor substituído (%)	-	10
Água (kg/m ³)	176	176
Cinzas volantes (kg/m ³)	110	110
Areia do rio (kg/m ³)	784	774
Agregado médio (kg/m ³)	391,8	387
Agregado grosso (kg/m ³)	391,8	387
SP ¹ (%)	7,4	8,8
A/L ²	0,32	0,32

1 – Superplastificante e 2 - Relação água/ligantes

Fonte: Faraj *et al.*, (2021).

Adaptada pelos Autores do Trabalho, (2022).

O estudo realizado pelos autores Salman, Frayyeh e Zghair, (2020), verificou um aumento de 45,5 MPa para 69,0 MPa de resistência à compressão aos 28 dias de idade com a substituição de 10% de sílica ativa em relação ao cimento. Com base na Tabela 3 a relação água/ligante foi de 0,34 para os dois proporcionamentos.

Tabela 3 – Estudo de dosagem dos concretos

Componentes	Concreto Referência (CR)	Concreto autoadensável (CAA)
Cimento (kg/m ³)	350	315
Sílica ativa (kg/m ³)	-	35
Teor substituído (%)	-	10
Água (kg/m ³)	170	170
Pó de calcário (kg/m ³)	150	150
Areia (kg/m ³)	778	778
Agregado graúdo (kg/m ³)	890	890
SP ¹ (%)	3,0	8,7
A/L ²	0,34	0,34

1 – Superplastificante e 2- Relação água/ligantes

Fonte: Salman; Frayyeh; Zghair, (2020).

Adaptada pelos Autores do Trabalho, (2022).

Os autores Fraga, Soares e Capuzzo (2021), obtiveram uma resistência à compressão do traço de referência, ou seja, sem a adição de AS de 51,1 MPa aos 28 dias. Já o traço de CAA teve como resistência 55,6 MPa na mesma idade. Com isso, é possível perceber que a sílica ativa entra como função de melhorar as propriedades mecânicas do concreto. A relação água/ligante é de extrema importância, o que também implica a influência dele na durabilidade e retração de todo o concreto. A composição das misturas é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Estudo de dosagem dos concretos

Componentes	Concreto Referência (CR)	Concreto autoadensável (CAA)
Cimento (kg/m ³)	624	561,6
Sílica ativa (kg/m ³)	-	62,4
Teor substituído (%)	-	10
Água (kg/m ³)	300	300
Areia fina (kg/m ³)	468	468
Areia média fina (kg/m ³)	468	468
Areia média grossa (kg/m ³)	468	468
Areia grossa (kg/m ³)	468	468
SP ¹ (%)	1,87	1,87
A/L ²	0,48	0,48

1 – Superplastificante e 2 - Relação água/ligantes

Fonte: Fraga Y. S. B.; Soares L.; Capuzzo V. M. S., (2021). Adaptada pelos Autores do Trabalho, (2022).

Mastali e Dalvand utilizaram cinzas volantes para controlar as propriedades reológicas do concreto fresco. A Tabela 5 apresenta as composições de misturas, que foram utilizadas neste estudo. Ao adicionar 7% e 14% em peso de sílica ativa ao cimento relataram que o aumento da sílica ativa levou a propriedades mecânicas aprimoradas, enquanto o aumento da sílica ativa de 7% para 14% reduziu significativamente a trabalhabilidade. A relação água-ligante manteve a mesma para a mistura do CR e CAA. Após 28 dias, o CAA apresentou um acréscimo de resistência a compressão e do módulo de elasticidade em relação ao concreto de referência, os quais atingiram, respectivamente, as resistências de 25 MPa e 22 GPa, enquanto a mistura de alta fluidez alcançou 34 MPa, e 26 GPa.

Tabela 5 – Estudo de dosagem dos concretos

Componentes	Concreto Referência (CR)	Concreto autoadensável (CAA)
Cimento (kg/m ³)	850	790,5
Sílica ativa (kg/m ³)	-	59,5
Teor substituído (%)	-	7
Água (kg/m ³)	230	213
Cinza volante (kg/m ³)	850	850
Areia (kg/m ³)	340	340
SP ¹ +MV ² (%)	0,56	0,56
A/L ³	0,27	0,27

1 – Superplastificante, 2- Modificador de viscosidade e 3- Relação água/ligantes

Fonte: Mastali; Dalvand, (2016).

Adaptada pelos Autores do Trabalho, (2022).

Os cinco estudos contendo adição de sílica ativa (SA) na mistura apresentaram melhor desempenho em termo de propriedades físicas como habilidade de passagem, capacidade de preenchimento e capacidade de fluxo, já nas propriedades mecânicas todos os cinco tiveram resultados significativos na resistência à compressão nos 28 dias de idade do CAA, conforme apresentado no Gráfico 1. A relação água/ligantes variou de 0,27 a 0,48 entre os cinco estudos, como demonstrado na Gráfico 2, fato alcançado em detrimento do acréscimo de aditivos superplastificantes (SP) no proporcionamento para obtenção de trabalhabilidade adequada no estado fresco.

Segundo uma análise de viabilidade de aplicação do concreto autoadensável (CAA) na cidade de Goianésia – GO realizado pelos autores Ferraz, Dias e Dalla (2021), o custo médio dos insumos do CAA com resistência à compressão de 30 MPa e 6% de adição de sílica ativa em substituição do cimento para produção de 1m³ fica 20% mais caro do que o concreto convencional (CV), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo médio dos insumos utilizados para produção de 1m³

Materiais	CV	CAA
Cimento CP II	R\$ 183,95	R\$ 192,44
Água	R\$ 0,68	R\$ 0,71
Areia lavada	R\$ 22,64	R\$ 21,04
Areia natural fina	R\$ 23,42	R\$ 32,69
Brita nº 0	R\$ 36,93	R\$ 36,46
Brita nº 1	R\$ 43,98	R\$ 23,70
Aditivo polifuncional	R\$ 26,87	R\$ 15,80
Aditivo superplastificante	-	R\$ 28,53
Sílica	-	R\$ 72,00
Custo Total	R\$ 338,47	R\$ 423,37

Fonte: Ferraz; Dias; Dalla, (2021).

No CAA é utilizado os mesmos insumos que o CV, sendo materiais cimentícios, agregados miúdos e graúdos, adições, aditivos e água, a única coisa que difere é quantidade de cada material, como já citado anteriormente a proporção de finos do CAA é maior em relação ao CV. O CAA quando comparado com o CV é mais vantajoso pois reduz a mão de obra, conseqüentemente, reduz o tempo de aplicação, porém o custo dos materiais que constitui o concreto CAA é superior. No Anexo 1 localiza-se duas composições de custos unitários do mês de abril de 2022 do banco de dados da SINAPI e GROINFRA, tabela não desonerada, para serviço de concretagem de escadas em edificações multifamiliar feitas com sistema de formas manuseáveis, sendo a Tabela A em concreto convencional e a Tabela B referente ao concreto autoadensável, cujos resultados, em virtude do custo do CAA (R\$ 679,60/m³) ter sido inferior ao do CV (R\$ 698,14/m³), expôs uma situação um tanto quanto adversa, pois os autores Ferraz, Dias e Dalla (2021) citaram que o CAA custa cerca de 20% mais que o convencional, cuja pesquisa explicou o incremento ser em virtude da necessidade de adições e aditivos para se obter o CAA com características adequadas, resultado também identificado nos artigos pesquisados. Fica evidente que as tabelas da SINAPI e GROINFRA possuem uma distorção quanto ao quesito custo dos insumos do CAA. Já na parte do custo da mão de obra ela deixa claro que o CAA possui menor despesa com

equipe, menos hora trabalhada e a não necessidade de vibrador para sua execução.

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, foi identificado que a faixa de substituição de sílica ativa em relação ao cimento aderidos nos trabalhos levantados foi de 7% a 10% e de adição de 2,5%, comprovando a melhora das propriedades no estado fresco como, capacidade de fluxo, capacidade de preenchimento e habilidade de passagem, também melhorou as propriedades mecânicas, com resultados significativos de resistência à compressão e módulo de elasticidade.

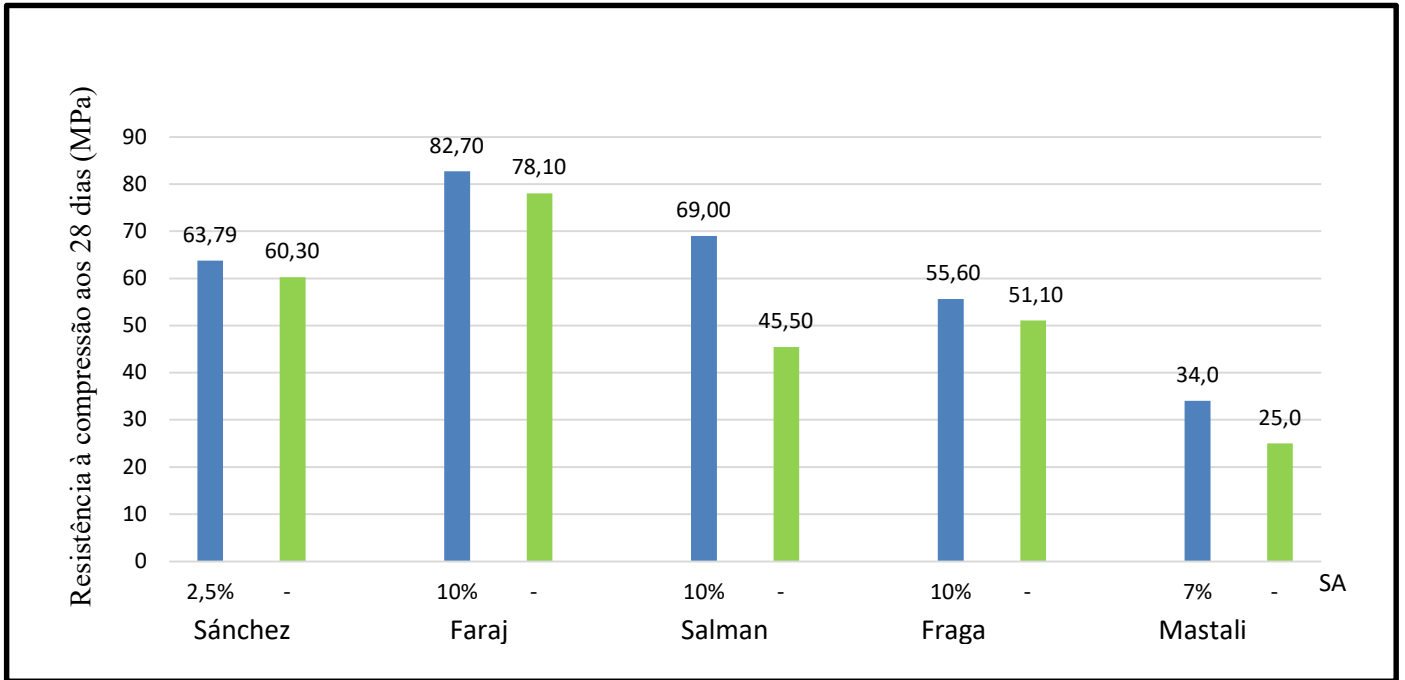
Pelas tabelas de composições de custos unitários o CAA terá menos demanda de mão-de-obra.

Apesar dos valores elevados dos insumos que incrementam o concreto autoadensável destacando-se a sílica ativa, há economia na mão-de-obra por não necessitar de vibradores e nivelamento, reduzindo assim o incremento de valor para o uso dessa tecnologia.

A adição de sílica ativa ou cinzas volantes ou alguma adição pozolânica melhora as características do CAA em conjunto com aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade. Se consegue, inclusive, alcançar resistências mecânicas superior ao do concreto convencional.

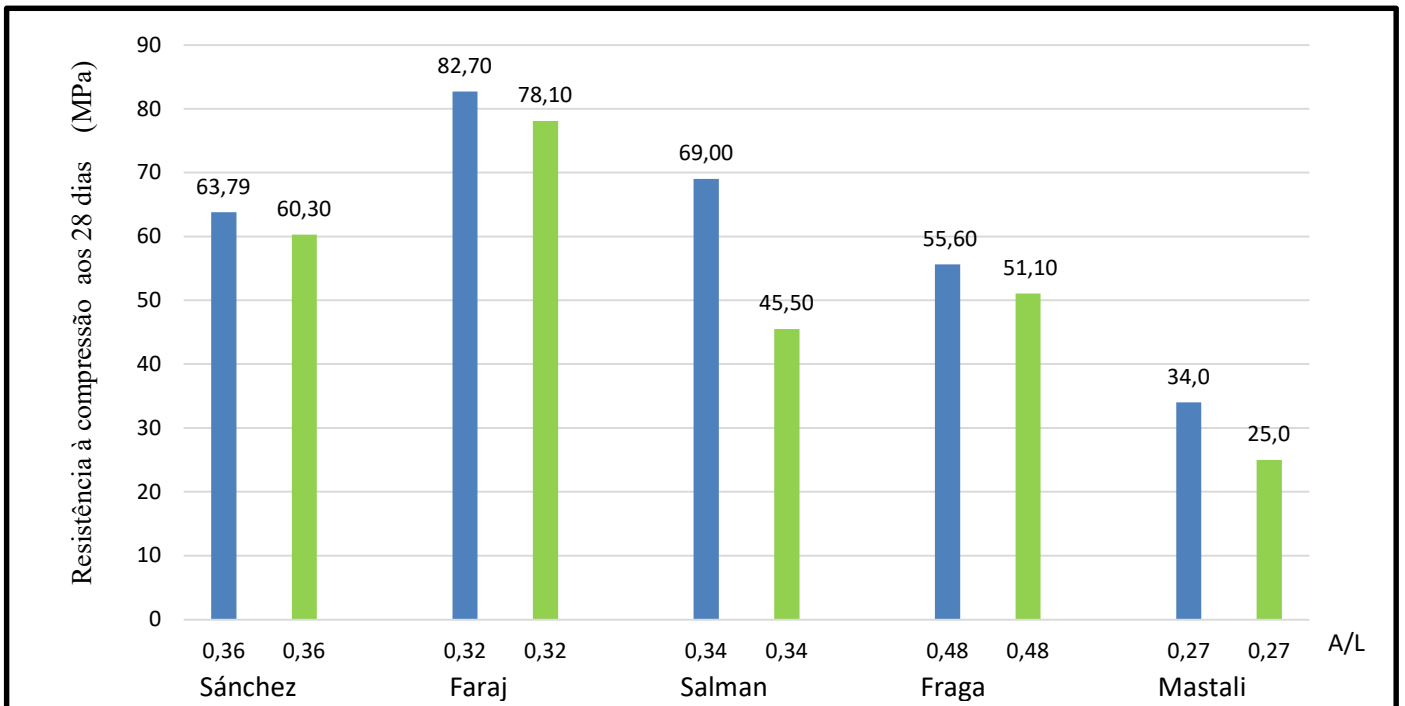
O uso do CAA se mostra viável no mercado goiano, visto que as adições e aditivos recomendados em seu proporcionamento se encontram disponíveis para aquisição nas lojas especializadas e são encontrados nas indústrias de concreto.

Gráfico 1 – Resistência à compressão axial x sílica ativa (SA)

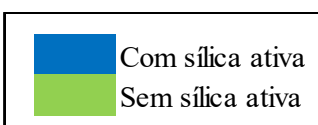


Fonte: próprio autor (2020).

Gráfico 2 – Resistência à compressão axial x água / ligantes (A/L)



Fonte: próprio autor (2020).



6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALALWANY, A. et al. Mechanical and Fresh State Properties of Medium Strength Self-Compacting Concrete (SCC) Containing Polypropylene Fibres. **MATEC Web of Conferences**, v. 103, p. 0–7, 2017.
- AMARAL, M.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M. H. F. DE. Atividade pozolânica da sílica ativa: análise em pastas cimentícias com diferentes teores de substituição. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, 2021.
- ANGELIN, A. F.; LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G. Uso da argila expandida e sílica ativa no melhoramento dos desempenhos mecânicos, físicos e térmicos de concretos leves estruturais. **Revista Materia**, v. 22, 2017.
- Anais do Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias -SINACEN**. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/SINACEN/v.6,n.1,202,p.28-33>. ISSN 2596-114431.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: concreto autoadensável. Rio de Janeiro, 2017.
- BARBOZA, L. S.; ALMEIDA FILHO, F. M. Concreto autoadensável com baixo consume de cimento: impacto da redução do consume de cimento na resistência à compressão. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, Sept. 2018.
- CAMPOS, C. A. **Aplicação De Concreto Auto-Adensável Em Lajes Moldadas in Loco – Estudo De Caso No Setor De Edificações**. p. 1–1, 2013.
- CARNEIRO, R. C. Análise das propriedades do concreto autoadensável com fibras de aço no estado plástico e endurecido com sílica ativa e com filler calcário. p. 164, 2018.
- CHITHRA, R. et al. Production of medium strength self compacting concrete using silica fume and quarry dust. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v. 8, n. 6 Special issue, p. 65–72, 2019.
- COLLEPARDI, M. A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC) By Mario Collepardi. **Supplementary Volume of the Proceedings of Three-Day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology**, p. 1–20, 2001.
- DE LA PEÑA RIQUELME, B. Propiedades Y Uso Del Hormigon Autocompactante Properties and Use of Self-Compacting Concrete. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 15, p. 74–80, 2000.
- DEY, S. et al. State of art review on selfcompacting concrete using mineral admixtures. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 6, n. 1, 2021.
- FARAJ, R. H. et al. Rheological behavior and fresh properties of self-compacting high strength concrete containing recycled PP particles with fly ash and silica fume blended. **Journal of Building Engineering**, v. 34, n. July 2020, p. 101667, 2021.
- FARAJ, R. H.; SHERWANI, A. F. H.; DARAEI, A. Mechanical, fracture and durability properties of self compacting high strength concrete containing recycled polypropylene plastic particles. **Journal of Building Engineering**, v. 25, n. May, p. 100808, 2019.
- FRAGA, Y. S. B.; SOARES, L. M. G.; CAPUZZO, V. M. S. Influência da densificação da sílica ativa nas propriedades de materiais cimentícios. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 3, p. 229–242, 2021.
- GIL, A. M. Aplicações Especiais Do Concreto Autoadensável. **III Seminário sobre pesquisas e obra em concreto 58º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Belo Horizonte, MG**, p. 52, 2014
- GOINFRA - Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes - Tabela de Composição de Preços - MAIO/2022 - SEM DESONERAÇÃO. Disponível em: http://www.goinfra.go.gov.br/arquivos/arquivos/Obras%20Civis/T172_S/Relat%3b3rio_de_Composi%3a7%3a3o_do_Servi.pdf.
- GOMES, P. C. C.; UCHOA, S. B. B.; BARROS, A. R. Propriedades de durabilidade do Concreto autoadensável - Self-compacting concrete durability properties. In: **48º Congresso Brasileiro do Concreto, CD-ROOM**, Rio de Janeiro, 2006.
- GRUNEWALD, S. **Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete**. 2004.
- MASTALI, M.; DALVAND, A. MASTALI, A. The impact resistance and mechanical properties of fiber reinforced self-compacting concrete (SCC) containing nanoSiO₂ and silica fume. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 22, n. 1, p. 1–27, 2018.
- METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Microestrutura, propriedades e materiais. Microestrutura do Concreto**, 2008. Disponível em: https://tuxdoc.com/download/concreto-microestrutura-propriedades-e-materias-mehta-e-paulo-monteiro-2-ed-2008_pdf.
- NUNES, B. E. A. U. T. O. B a -c : t p. 2001.
- OKAMURA, H.; OUCHI, M. Sel-Compacting Concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 1, n. 1, p. 5–15, 2003.
- PELISSER, F.; VIEIRA, A.; BERNARDIN, A. M. Efficient self-compacting concrete with low cement consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 324–332, 2018.
- SALMAN, M. M.; FRAYYEH, Q. J.; ZGHAIR, L. A. Microstructural investigation on fiber reinforced SC C subjected to sulphuric acid attack. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 737, n. 1, 2020.
- SÁNCHEZ, E. et al. Propriedades reológicas e mecânicas de um concreto autoadensável, com a adição de nano sílica e de micro sílica (sílica ativa). **Revista ALCONPAT**, v. 6, n. 1, p. 1–14, 2016.
- SIDDIQUE, R. Effect of volcanic ash on the properties of cement paste and mortar. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 56, n. 1, p. 66–70, 2011.
- SINAPI_ref Insumos Composicoes GO 032022_NaoDesoneradoRelatório de Insumos e Composições –

MAR/22 - SEM DESONERAÇÃO Publicado em 18 de abril de 2022 / Formato zip / 20939. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_646.

SUKUMAR, B.; NAGAMANI, K.; RAGHAVAN, R. S. Evaluation of strength at early ages of selfcompacting concrete with high volume fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 7, p. 1394- 1401, Jul. 2008.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. Comparativo das propriedades do concreto autoadensável (CAA) utilizando areia fina e cinza volante. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 4, n. 2, p. 247-276, 2011.

VEJMELKOVA, E. et al. Properties of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin and blast furnace slag. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 1325-1331, 2011.

7 ANEXO 1

7.1 Tabela A

SERVIÇO: CONCRETAGEM DE ESCADAS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS - CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL, FCK 25 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO (EXCLUSIVE BOMBA LANÇA).						
UNIDADE: m³						
COMPONENTES	UN.	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO MATERIAL (R\$)	EQUIPAMENTO (R\$)	CUSTO M.O. (R\$)
SERVENTE	h	1,366	5,62	x	x	7,68
CARPINTEIRO	h	0,304	8,45	x	x	2,57
PEDREIRO	h	1,214	8,45	x	x	10,26
VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO.	CHP	0,148	1,45	x	0,21	x
VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO.	CHI	0,156	0,49	x	0,08	x
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, UMP = 190 +/- 20 MM, EXCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953).	m ³	1,000	555,49	555,49	x	x
CUSTOS DIRETOS PARCIAIS				555,49	0,29	20,50
LEIS SOCIAIS (126,8%)				x	x	26,00
CUSTOS DIRETOS TOTAIS				581,78		
BDI (20%)				116,36		
PREÇO TOTAL DO SERVIÇO UNITÁRIO				698,14		

7.2 Tabela B

SERVIÇO: CONCRETAGEM DE ESCADAS EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES FEITAS COM SISTEMA DE FÔRMAS MANUSEÁVEIS - CONCRETO USINADO AUTOADENSÁVEL, FCK 25 MPA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.

UNIDADE: m³

COMPONENTES	UN.	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO MATERIAL (R\$)	CUSTO M.O. (R\$)
SERVENTE	h	0,595	5,62	x	3,34
CARPINTEIRO	h	0,198	8,45	x	1,67
PEDREIRO	h	0,396	8,45	x	3,35
CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA) CLASSE DE RESISTENCIA C25, ESPALHAMENTO SF2, INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO (NBR 15823).	m ³	1,000	555,73	555,73	x
CUSTOS DIRETOS PARCIAIS				555,73	8,36
LEIS SOCIAIS (126,8%)				x	10,60
CUSTOS DIRETOS TOTAIS				566,33	
BDI (20%)				113,27	
PREÇO TOTAL DO SERVIÇO UNITÁRIO				679,60	

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Daise Soares Guadinho

do Curso de Engenharia Civil, matrícula 2016100250751-7

telefone: (62) 98426-1047 e-mail daisesoares123@gmail.com na

qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a

disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado

Estudo Literário da Dosagem de Concreto Autoclavável com adição de sílica ativa gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos,

conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som

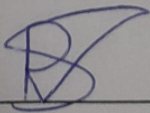
(WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção

científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de maio de 2022.

Assinatura do autor: Daise Soares Guadinho

Nome completo do autor: Daise Soares Guadinho

Assinatura do professor-orientador: 

Nome completo do professor-orientador: Reginaldo Virgílio da Silva

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Karolyne Nunes Garcez de Souza Bueno
do Curso de Engenharia Civil, matrícula 20172002500089,
telefone: (64) 9.92934331 e-mail karolynegarcez@gmail.com na
qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos

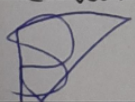
Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a
disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado

Estudo Literário da Dosagem de Concreto de Tração Real com adição de Silica Ativa gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos,
conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de
computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som
(WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da
área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção
científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de março de 2022.

Assinatura do autor: Karolyne Nunes Garcez de Souza Bueno

Nome completo do autor: Karolyne Nunes Garcez de Souza Bueno

Assinatura do professor-orientador: 

Nome completo do professor-orientador: Reginoldo Virgílio da Silva