

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ISADORA FUKUDA DE MENEZES

**A INFLUÊNCIA DO TEOR DE SÍLICA ATIVA COMO FÍLER EM
ARGAMASSAS AUTOADENSÁVEIS, NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS
E NO DESEMPENHO NO ESTADO FRESCO E NO ENDURECIDO**

Ilha Solteira
2024

ISADORA FUKUDA DE MENEZES

**A INFLUÊNCIA DO TEOR DE SÍLICA ATIVA COMO FÍLER EM
ARGAMASSAS AUTOADENSÁVEIS, NAS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS E NO DESEMPENHO NO ESTADO FRESCO E NO
ENDURECIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Dr Marco Antônio de Moraes
Alcantara
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- M543i Menezes, Isadora Fukuda de.
A influência do teor de sílica ativa como fíler em argamassas autoadensáveis, nas propriedades reológicas e no desempenho no estado fresco e no endurecido / Isadora Fukuda de Menezes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
58 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024
- Orientador: Marco Antonio de Moraes Alcântara
- Inclui bibliografia
1. Silica ativa. 2. Argamassa autoadensável. 3. Fluidificação. 4. Resistência mecânica.

ISADORA FUKUDA DE MENESES

**A INFLUÊNCIA DO TEOR DE SÍLICA ATIVA COMO FÍLER EM
ARGAMASSAS AUTOADENSÁVEIS, NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS
E NO DESEMPENHO NO ESTADO FRESCO E NO ENDURECIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

Aprovada em: 10/06/2024

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcantara
UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Prof. Dr. Artur Pantoja Marques
UNESP – Campus de Ilha Solteira (Examinador)

Prof. MSc. Rodrigo Andraus Bispo
UNESP – Campus de Ilha Solteira (Examinador)

Ilha Solteira
10 de junho de 2024

Dedico este trabalho aos meus pais,
sem vocês nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, por me dar forças e me guiar na concretização deste trabalho, sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais, Carlos e Hiromi, por tanto amor e compreensão, e por serem meus maiores incentivadores, sempre me confortando nos momentos de dificuldade.

A minha irmã, minha maior inspiração de vida e principal responsável por eu ter buscado na Engenharia, a minha profissão.

Ao meu orientador, prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcantara, agradeço fortemente pela orientação deste trabalho, além dos tantos conhecimentos transmitidos, tanto dentro das salas de aulas, como na Equipe Águia.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelas trocas de experiências, auxílio em momentos de dúvidas, e pelo ombro amigo.

E por fim, ao meu namorado Murillo, pelas trocas ricas de conhecimentos, e por estar sempre do meu lado, me incentivando na escrita desse trabalho.

RESUMO

Este estudo investigou a incorporação da sílica ativa como fíler para a produção de argamassas autoadensáveis. Para tanto, foi utilizado cimento Portland CP II-Z-32, sílica ativa, além de superplastificante de ação estérica e eletrostática. Foram elaboradas dois grupos de composições: (i) fixou-se a relação água/cimento, e variou a relação fíler/cimento, (ii) fixou a relação fíler/cimento, e variou a relação água/cimento. Posteriormente foram avaliadas as propriedades do material no estado fresco por meio dos ensaios de espalhamento *Slump-flow*, de escoamento confinado *V-funnel*, para a avaliação da fluidez em escoamento livre e confinado, e a avaliação da massa específica aparente. Já no estado endurecido foram avaliadas as propriedades de resistência mecânica à compressão axial, à compressão diametral, e ainda o ensaio de absorção d'água. Observou-se que: dentro das condições de fixação da relação água/cimento, o incremento da incorporação da sílica ativa interfere nas condições de fluidez pela redução da coesão interna, requerendo quantidades extras de superplastificante para manter os níveis alcançados, e induzindo à segregação em alguns casos; no caso da fixação da relação fíler/cimento a fluidificação se deu pela influência da água e do superplastificante. Com relação à resistência mecânica, para a composição i), não se constatou aumento da resistência com o incremento do teor de sílica ativa, já para o grupo ii), a influência da relação água/cimento foi relevante para o aumento da resistência mecânica com melhora significativa de 39%. Os níveis de absorção d'água pouco foram favorecidos com a adição de sílica ativa, sendo preferencialmente governados pela relação água/cimento. Quando comparados com os traços investigados, observou-se que o incremento da sílica, dentro da presente investigação, trouxe ganho de resistência significativos das argamassas mesmo em valores mais elevados da relação a/c, e para um consumo menor de cimento, nas idades mais avançadas de 28 dias de cura, resultando em uma melhora de 42% na resistência mecânica.

Palavras-chave: Silica ativa. Argamassa autoadensável. Fluidificação. Resistência mecânica.

ABSTRACT

This study investigated the incorporation of silica fume as a filler for the production of self-compacting mortars. To this end, Portland cement CP II-Z-32, silica fume, as well as a superplasticizer with sterically and electrostatically action, were used. Two groups of compositions were prepared: (i) fixing the water/cement ratio and varying the filler/cement ratio, and (ii) fixing the filler/cement ratio and varying the water/cement ratio. Subsequently, the properties of the material in the fresh state were evaluated through tests including Slump-flow for flowability, V-funnel for confined flow to assess flowability under confinement, and evaluation of apparent specific gravity. In the hardened state, mechanical properties such as axial compressive strength, diametral compressive strength, and water absorption were evaluated.

It was observed that within the fixed water/cement ratio conditions, increasing silica fume incorporation affected flowability due to reduced internal cohesion, necessitating additional superplasticizer to maintain desired levels and sometimes inducing segregation. When fixing the filler/cement ratio, fluidification occurred due to the influence of water and superplasticizer. Regarding mechanical strength, for composition (i), no increase in strength was noted with increasing silica fume content. However, for group (ii), the water/cement ratio significantly influenced mechanical strength, showing a notable 39% improvement. Water absorption levels were minimally affected by silica fume addition, primarily governed by the water/cement ratio.

Comparing the investigated mixtures, the study found that increasing silica fume content resulted in significant strength gains in mortars, even at higher water/cement ratios, and with reduced cement consumption, particularly evident at advanced ages of 28 days curing, showing a 42% enhancement in mechanical strength.

Keywords: Silica fume. Self-compacting mortar. Fluidization. Mechanical strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio de espalhamento.....	25
Figura 2 - Ensaio de Funil V.....	26
Figura 3 - Fenômeno da segregação.....	27
Figura 4 - Fenômeno da Exsudação.....	27
Figura 5 – Funil utilizado para avaliação de vazão mássica.....	33
Figura 6 - Variação percentual acumulada das relações s/c e f/c.....	39
Figura 7 – Manifestação de segregação em superfície de espalhamento	40
Figura 8 - Vazão mássica em escoamento confinado através do funil x Relação f/c.....	41
Figura 9 - Variações da vazão mássica em escoamento confinado através do funil x Relação a/c.....	42
Figura 10 - Vazão mássica x Diâmetro de espalhamento com f/c variável	43
Figura 11 - Vazão mássica x Diâmetro de espalhamento com a/c variável.....	43
Figura 12 - Quadro da relação entre o valor da massa específica aparente em função da vazão mássica em ensaio de funil v.	44
Figura 13 - Resistência mecânica à compressão simples x Relação f/c, aos 7 e 28 dias de cura	45
Figura 14 - Resistência mecânica à compressão simples x Relação a/c, aos 7 e 28 dias de cura	46
Figura 15 - Aspectos de corpos de prova moldados com misturas com e sem manifestação desegregação.....	47
Figura 16 - Resistência mecânica à compressão diametral x Relação f/c, aos 7 e 28 dias de cura.....	48
Figura 17 - Resistência mecânica à compressão diametral x Relação a/c, aos 7 e 28 dias de cura.....	48
Figura 18 - Variações da absorção d'água aos 28 dias de cura, em função da variação das relações fíler/cimento.....	49
Figura 19 - Variações da absorção d'água aos 28 dias de cura, em função da variação das relações água/cimento.....	50
Figura 20 - Resistência mecânica das argamassas vibradas e autoadensáveis com 7 dias de cura x Relação água/cimento	51
Figura 21 - Resistência mecânica das argamassas vibradas e autoadensáveis com 28 dias de cura x Relação água/cimento	51
Figura 22 – Comparação da Resistência mecânica das argamassas vibradas e autoadensáveis com 7 e 28 dias de cura x Relação água/cimento	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização do agregado miúdo	30
Tabela 2 - Caracterização da sílica ativa	30
Tabela 3 - Configuração das composições em massa (g)	31
Tabela 4 - Configuração das composições i).....	32
Tabela 5 - Configuração das composições ii).....	32
Tabela 6 - Composições das argamassas vibradas	32
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de espalhamento (Slump Flow Test)	34
Tabela 8 - Resultados dos ensaios de escoamento confinado (V-funnel).....	35
Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio da massa específica aparente	35
Tabela 10 - Resultados de resistência à compressão axial – 7 dias.....	36
Tabela 11 - Resultados de resistência à compressão axial – 28 dias.....	36
Tabela 12 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral – 7 dias	37
Tabela 13 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral – 28 dias	37
Tabela 14 - Valores de absorção d'água aos 28 dias.....	38
Tabela 15 - Resistência à compressão axial aos 7 dias de cura das argamassas vibradas.....	38
Tabela 16 - Resistência à compressão axial aos 28 dias de cura das argamassas vibradas.....	38
Tabela 17 - Variação percentual acumulada das relações superplastificante/cimento e fíler/cimento.....	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAA – Concreto Autoadensável

CVV – Concreto Convencional Vibrado

SA – Sílica Ativa

SiO_2 – Dióxido de silício amorfo

Ca(OH)_2 - Hidróxido de Cálcio

C-S-H – Silicato de cálcio hidratado

a/c – relação água/cimento

f/c – relação fíler/cimento

s/c – relação superplastificante/cimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.2. OBJETIVO	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. JUSTIFICATIVA	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Concreto Autoadensável	16
2.2. Argamassa Autoadensável	16
2.3. Caracterização dos materiais	17
2.3.1. Cimento Portland	18
2.3.2. Água	18
2.3.3. Agregados miúdos	18
2.3.4. Adições	19
2.3.5. Aditivos	20
2.4. Silica Ativa	21
2.4.1. Generalidades da Sílica Ativa	21
2.4.2. Vantagens da Sílica Ativa	22
2.5. Caracterização reológica das argamassas autoadensáveis	24
2.5.1. Propriedades no estado fresco	24
2.5.1.1. Patologias das argamassas no estado fresco	26
2.5.2. Propriedades no estado endurecido	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. Materiais	30
3.2. Métodos	31
3.3. Ensaio realizados	32
3.3.1. Ensaio no estado fresco	32
3.3.2. Ensaio no estado endurecido	33
4. RESULTADOS	34
4.1. Resultados no estado fresco	34
4.2. Resultados no estado endurecido	35
4.2.1. Resultados de resistência à compressão axial	35
4.2.2. Resultados de resistência à tração por compressão diametral	36

4.2.3.	Absorção d'água	37
4.3.	Resultados das argamassas vibradas (referência)	38
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
5.1.	Discussão dos resultados no estado fresco	39
5.1.1.	Diâmetro de espalhamento	39
5.1.2.	Vazão mássica em escoamento confinado	41
5.1.3.	Relações entre os resultados sobre variáveis do estado fresco	43
5.2.	Discussão de resultados no estado endurecido	45
5.2.1.	Resistência à compressão axial	45
5.2.2.	Resistência à tração por compressão diametral	47
5.2.3.	Absorção d'água	49
5.3.	Comparação com argamassas vibradas sem o uso da sílica ativa	50
6.	CONCLUSÕES	53
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Sabe-se que o concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, no setor da construção civil, perdendo apenas para a água, sendo estimado que o seu consumo atual seja da ordem de 11 bilhões de toneladas anuais (MEHTA, 2008).

Em vista disso, é fato que os processos provenientes da sua produção são fontes geradoras de resíduos, que causam grandes degradações no meio ambiente, que não levam em consideração o desenvolvimento sustentável, muitas vezes. Com isso, a construção civil tem buscado cada vez mais fontes alternativas para reduzir tais impactos, encontrando nos materiais oriundos de subprodutos de processos industriais, uma solução viável para atender essa necessidade, uma vez que existe um aproveitamento racional por trás da sua utilização.

Aliado a isso, o cimento é um material de custo elevado, e por isso, a busca pelo uso de materiais alternativos, como a sílica ativa, cinzas de casca de arroz, a escória, e a cinza volante deve ser cada vez mais incentivada e empregada, não só para produzir concretos mais econômicos, mas também para melhorar as características reológicas do concreto (NEVILLE apud MENDES, 2015).

Desse modo, a sílica ativa é um material pozolânico que vem sendo amplamente empregado como adição mineral, por atuar no aumento da resistência de argamassas, melhorar a porosidade e aderência entre pasta e agregado (DAL MOLIN; OLIVEIRA; KULAKOWSKI apud FERREIRA 2016).

Nesse contexto, esse trabalho se propõe a analisar a incorporação da sílica ativa em argamassas autoadensáveis, como adição mineral com atuação de fíler, com o intuito de analisar as propriedades reológicas, no estado fresco e endurecido.

1.2. OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do teor de sílica ativa empregada como fíler, em argamassas autoadensáveis, a fim de avaliar as suas propriedades, no estado fresco e no endurecido.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- i) Fixar a relação água/cimento em 0,68 e variar em três níveis diferentes o teor de fíler/cimento (0,15, 0,25 e 0,35), a fim de avaliar como o incremento de sílica ativa influencia no estado fresco e endurecido;
- ii) Fixar a relação fíler/cimento em 0,15 e variar em três níveis diferentes o teor de água/cimento (0,68, 0,63 e 0,55), a fim de avaliar como o incremento da água atua no estado fresco e endurecido, para o mesmo teor de fíler na mistura;
- iii) Comparar com argamassas vibradas sem adições de sílica ativa, para avaliar como o teor de sílica ativa influencia na resistência mecânica das argamassas autoadensáveis.

1.3. JUSTIFICATIVA

Sabe-se que a tendência é que o concreto autoadensável (CAA) tenha seu uso ampliado, devido aos seus inúmeros benefícios, como econômicos, tecnológicos e ambientais, especialmente por tornar as obras mais sustentáveis, através da redução dos desperdícios de materiais, além de proporcionar mais segurança no canteiro de obra.

Antes da obtenção do CAA, é necessário o estudo e desenvolvimento de sua fase argamassa, que detém em sua composição uma grande quantidade de finos, responsável por garantir maior capacidade de adensamento, além de auxiliar na redução do atrito interno.

Segundo Bentur (2002) e Alcantara (2004), os finos adicionados às misturas são importantes influenciadores nas condições reológicas desejadas ao estado fresco. Já conforme Neves (2013), os finos contribuem

proporcionando maior controle da viscosidade e segregação, além de trazer melhorias na compacidade do concreto.

Alguns trabalhos como de Alcantara e Mendes (2015) e Alcantara e Mello (2015) levantam a importância sobre a qualificação da fase argamassa em concretos autoadensáveis, ou de argamassas para fins estruturais. Desse modo, considerou-se importante o estudo sobre argamassas com a incorporação de adição mineral de sílica ativa, a fim de analisar as propriedades reológicas, e o seu desempenho no estado fresco e endurecido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Concreto Autoadensável

Segundo Maragon (2006), o concreto autoadensável apresenta alta fluidez e coesividade, detendo capacidade para atingir compactação total mesmo na presença de densa armadura.

Já para Tutikian (2007) o CAA nada mais é que o termo que descreve o material cimentício capaz de ser moldado em formas, e diferente do concreto convencional, apresenta capacidade de preencher todos os espaços vazios, somente com o seu peso próprio, dispensando-se a compactação ou vibração.

Ainda segundo o autor, para ser considerado CAA, o concreto precisa atender três requisitos simultâneos:

- Fluidez: capacidade do concreto preencher todos os espaços vazios dentro da forma somente pelo efeito do seu peso próprio.
- Habilidade passante: capacidade do CAA passar entre obstáculos (armaduras, seções estreitas, diminuição de seções, entre outros) sem que haja obstrução do fluxo (GOMES; BARROS, 2009).
- Resistência à segregação: capacidade do concreto se manter estável e homogêneo durante todas as etapas da mistura, como transporte e lançamento (EFNARC, 2002).

Para Klug (2003) as propriedades do CAA estão mais associadas ao estado fresco, por isso são mais estudadas em relação ao estado endurecido, isso porque nesse último, são poucas as propriedades mecânicas que de fato se diferenciam do concreto convencional vibrado (CVV), segundo Repette (2011).

2.2. Argamassa Autoadensável

A argamassa autoadensável é uma das fases do concreto autoadensável (CAA), e seu comportamento “autoadensável” é definido pelas suas propriedades reológicas no estado fresco, em termos de consistência, fluidez e de mobilidade, que permitem que estes materiais possam ser moldados unicamente sob ação de seus pesos próprios.

As propriedades da argamassa autoadensável são praticamente as mesmas exigidas pelo CAA, em vista disso devem adensar-se pela ação do próprio peso, apresentar fluidez, e resistir à segregação e/ou exsudação (DOMONE, JIN apud FERREIRA, 2016).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a argamassa é definida como “uma mistura de areia, cimento e água”, em outras palavras, é um concreto que dispensa a adição de agregado graúdo, tendo o aditivo superplastificante como um dos componentes principais, que juntamente com a água, fornecem consistência suficiente à mistura, sem que ocorra o fenômeno da segregação.

Billberg (1999) considera a argamassa autoadensável como uma fase fluida do concreto autoadensável de extrema importância, visto que a partir dela é possível determinar a quantidade de aditivos e finos necessários para a confecção do concreto, que garantam as características de autoadensabilidade.

A argamassa autoadensável tem sido empregada para restauração e reparação de estruturas de concreto armado, porém para que seja aplicada, deve atender as características adequadas de resistência à segregação e capacidade de escoamento (TURK, 2012).

Devido ao fato da argamassa estar relacionada à produção do concreto autoadensável, suas características irão influenciar na capacidade de adensamento do concreto. Desse modo, segundo Khotbehsara et. al (2015) as partículas finas interferem diretamente na qualidade das argamassas autoadensáveis, e conseqüentemente no seu desempenho em termos de durabilidade e nas suas propriedades mecânicas. Em vista disso, é necessário um estudo e caracterização dos materiais a serem empregados.

2.3. Caracterização dos materiais

De forma geral, a composição das argamassas autoadensáveis é bastante semelhante ao concreto autoadensável, visto que ambos possuem o mesmo princípio de se adensarem por ação da gravidade, porém dispensando a adição de agregado graúdo em sua dosagem.

Ademais, a composição deste material possui um maior teor de finos, além do uso de aditivos superplastificantes, quando comparada com a composição de argamassas convencionais.

2.3.1. Cimento Portland

Assim como na composição de argamassas convencionais, não existe um critério que defina o tipo de cimento a ser utilizado na argamassa autoadensável, desse modo, a finalidade da aplicação deve definir o melhor tipo de cimento a ser utilizado.

Sabe-se que a argamassa autoadensável demanda um maior teor de finos, a fim de garantir uma viscosidade mais adequada e maior estabilidade, além disso o aumento no consumo do cimento pode ocasionar em aumento tanto da retração plástica, como na liberação de calor (estado fresco e endurecido), sendo assim a incorporação de adições minerais, com efeito pozzolânico e fíler, tem sido uma ótima alternativa para mitigar esses efeitos indesejáveis.

Conforme Tutikian (2007) o emprego de materiais pozzolânicos também colabora positivamente no processo de hidratação do cimento, propiciando um aumento da resistência final do composto no estado endurecido.

2.3.2. Água

Sabe-se que a água é utilizada em misturas cimentícias, tanto para a hidratação do cimento quanto para se promover as boas condições de manuseio, sendo assim é de extrema importância a qualidade da água de amassamento utilizada para a confecção da argamassa, e para seu consequente desempenho, pois a presença de impurezas encontradas na água, podem afetar a resistência mecânica do composto. Segundo Neville (1997) a recomendação ideal é que o pH do componente esteja entre 6,0 e 8,0.

Além disso, é importante salientar que a resistência mecânica também pode ser afetada pelo excesso de água, podendo vir a causar problemas de exsudação.

2.3.3. Agregados miúdos

Segundo Guneyisi et al (2015), os agregados miúdos influenciam as argamassas no seu aspecto reológico e nas suas propriedades físicas no estado fresco, por meio da distribuição das suas partículas, formato, textura e densidade, enquanto que no endurecido, através da composição mineralógica, dureza, entre outros (GONÇALVES et al 2007).

Neves (2013) recomenda que se utilize agregados miúdos de granulometria contínua, pois caso contrário, pode haver comprometimento na qualidade da argamassa, interferindo nas propriedades mecânicas da mistura cimentícia, por meio da redução de fluidez, aumento de consumo de cimento e quantidade de vazios.

Os autores Dal Molin e Tutikian (2008), recomendam que seja utilizado qualquer tipo de areia natural ou industrial como agregado miúdo, porém enfatizam que a areia natural é a mais adequada, em virtude do seu formato arredondado e textura lisa.

No caso das argamassas, para que apresentem comportamento autoadensável, é recomendado que se utilize de 40 a 60% de volume de areia, devido ao fato de apresentarem granulometria mais fina, auxiliam na obtenção de menor volume de vazios (GIACCIO; TOBES; ZERBINO apud FERREIRA, 2016).

2.3.4. Adições

Segundo Mehta e Malhotra (1996) o emprego de materiais silicosos como adições minerais, possibilita uma maior redução dos custos, uma vez que seu uso substitui parcialmente o cimento, além de permitir uma melhoria da trabalhabilidade no estado fresco, com o aumento da viscosidade, aumentando a resistência à segregação e/ou exsudação.

Cavalcanti (2006) classifica as adições minerais em dois grandes grupos:

- Adições Predominantemente Inertes (API): sem participação efetiva no processo de hidratação do cimento, todavia, em virtude dos seus efeitos físicos, são capazes de garantir maior compacidade à mistura, através do melhor empacotamento dos grãos. Como exemplos, podemos citar os fíleres calcários, pó de quartzo, pó de pedra, entre outros.
- Adições Predominantemente Reativas (APR): possuem participação ativa no processo de hidratação do cimento, visto que devido ao seu efeito químico, são capazes de reagirem na mistura. Dentre eles, podemos

destacar as pozolanas, sílica ativa, cinza de casca de arroz, metacaulim, entre outros.

As adições minerais também são incorporadas às misturas autoadensáveis, visando a redução do atrito interno, além de serem importantes influenciadores nas condições reológicas desejadas ao estado fresco, uma vez que suas partículas, por serem muito finas, provocam efeito filer no concreto, promovendo redução do volume de vazios do concreto. No estado fresco fornecem uma maior coesão, contribuindo para a redução dos fenômenos de segregação e exsudação (ALCANTARA, 2004).

2.3.5. Aditivos

Os aditivos superplastificantes, polímeros tensoativos de cadeia longa, solúveis em água, e de massa molecular elevada, têm sido amplamente empregados nas misturas cimentícias, devido a sua capacidade de reduzir o teor de água necessário, que está relacionado à sua elevada polaridade. Estes materiais ligam-se às partículas de cimento por meio de forças intermoleculares durante o estado fresco, gerando a dispersão destas partículas, promovendo a redução de atrito interno e aumentando o escoamento da mistura (MEHTA; MONTEIRO apud MENDES, 2015).

Segundo Nunes (2001), os aditivos podem ser de dois tipos, de 2ª geração, compostos de polímeros sintéticos sulfonados, e de 3ª geração, policarboxilatos, que possuem alta capacidade de promover a repulsão nos grãos de cimento, além de permitirem a redução de água nas argamassas em até 40%.

Estudos referentes aos superplastificantes de 3ª geração indicaram que é possível obter maiores resultados de resistência à compressão aos 28 dias nos CAAs com a adição deste material, além de que, quando adicionado na ordem de até 1% em relação à massa de cimento, resulta em uma redução na quantidade de água na mistura em até 20%. Além disso, obteve-se um resultado satisfatório no que diz respeito aos resultados de abatimento, uma vez que o aumento do abatimento não resulta em exsudação excessiva ou retardamento

do tempo de pega (NUNES, 2001; EFNARC, 2002; CAVALCANTI, 2006; CALADO, 2015).

Ademais, o uso de superplastificantes no concreto proporciona uma série de alterações em suas propriedades como a hidratação, porosidade, fluidez, retração, tempo de pega, evolução da resistência, entre outras, todavia é de extrema importância ter devida atenção à dosagem destes aditivos, pois quantidades excessivas podem ocasionar riscos de segregação e perda de resistência à compressão. Sendo assim é indispensável a elaboração de estudos de compatibilidade e a adequada caracterização dos materiais empregados ao sistema (RONCERO, 2000; CAVALCANTI, 2006).

2.4. Silica Ativa

2.4.1. Generalidades da Sílica Ativa

O uso de adições minerais altamente pozolânicas, como a sílica ativa (SA), tem sido amplamente difundido, devido a sua capacidade de melhorar algumas propriedades dos materiais cimentícios, como a resistência mecânica, a durabilidade e a fluidez, além apresentar bom desempenho, tanto no estado fresco quanto no endurecido (KULAKOWSKI, 1994).

Oriunda de processos que ocorrem na indústria metalúrgica, a sílica ativa pode ser extraída como subproduto da fabricação de silício metálico, ou de ligas de ferro-silício, sendo obtida em fornos elétricos, a temperaturas que atingem aproximadamente 2000°C. Possui elevado teor de dióxido de silício amorfo (SiO_2) em sua composição, composto gasoso altamente reativo, produzido dentro dos fornos elétricos durante a redução do quartzo puro (SILVA; LIBÓRIO, 2004).

A sílica ativa possui um peso específico de aproximadamente 2,20 g/cm³, inferior ao cimento Portland (3,15 g/cm³), é composta por partículas esféricas muito finas, com diâmetros que podem variar de 0,02 a 0,5 µm, além de uma superfície específica que pode chegar a valores de aproximadamente 20.000 m²/kg (13 a 20 vezes maior que a de outros materiais pozolânicos), fator que demanda maiores quantidades de água em compostos cimentícios com relações a/c mais baixas, tornando-se necessário, muitas vezes, o uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes (BABU; PRAKASH, 1995).

O uso da sílica ativa em argamassas cimentícias se deve, principalmente, ao fato desta promover a melhoria das propriedades mecânicas e compacidade do concreto, devido à ocorrência, durante as reações de hidratação do cimento, da formação do fíler e da pozolana. Desse modo, o componente age nas argamassas formando uma microestrutura mais densa, homogênea e uniforme (BENTZ; STUTZMAN; ISAIA apud HOFFMANN, 2001).

Segundo Fornasier (1995), o efeito fíler da sílica ativa é ocasionado pela extrema finura das suas partículas, além do seu formato esférico, que quando em contato com a mistura cimentícia afeta o arranjo físico do sistema, e possibilita uma ocupação mais efetiva dos vazios entre os grãos de cimento. Esta característica das partículas promove também a redução dos espaços disponíveis à água, proporcionando um melhor preenchimento dos vazios da matriz cimentícia, originando uma mistura menos porosa e mais homogênea (ISAIA apud HOFFMANN, 2001).

Segundo Hermann *et. al* (2016) as reações pozolânicas ocorrem quando as partículas de SiO_2 da sílica ativa reagem com o Ca(OH)_2 presente nas reações de hidratação do cimento, originando o silicato de cálcio hidratado (C-H-S), composto reponsável por conferir aumento na resistência mecânica da argamassa, e resistência aos ataques de agentes agressivos.

Conforme menciona Dal Molin (1995), devido ao fato das reações pozolânicas da sílica ativa com o Ca(OH)_2 ocorrerem rapidamente, o tempo necessário de cura para atingir determinada resistência é menor, quando comparada a outras pozolanas, como as naturais, escórias e cinzas volantes.

Hermann *et. al* (2016) recomendam que a sílica ativa seja limitada entre 5 e 15% em relação a massa de cimento, pois neste intervalo identifica-se a melhoria na trabalhabilidade das argamassas, visto que suas partículas atuam nos vazios do cimento, proporcionando uma melhor fluidificação da mistura. Quantidades superiores promovem uma maior demanda de água para manter a consistência da argamassa, em virtude do afastamento das suas partículas, que tornam a mistura mais seca, aumentando o consumo de água.

2.4.2. Vantagens da Sílica Ativa

Sabe-se que uma das vantagens do uso da sílica ativa em matrizes

cimentícias é a redução de custos, uma vez que substitui parcialmente o cimento, além do fato de ser um resíduo industrial (MAAGE; SELLEVOLD apud HOFFMANN, 2011)

Kulakowski (2002) também menciona a vantagem do material não possuir custo agregado de consumo de energia relacionado à extração, queima e moagem, quando comparado com às pozolanas naturais, como o metacaulim, uma vez que a SA não passa por nenhum processo, fora seu acondicionamento em embalagem.

Como mencionado, seu emprego em argamassas cimentícias tem sido cada vez mais difundido, em virtude do bom desempenho apresentado nas modificações das propriedades do concreto no estado fresco, como coesão, trabalhabilidade, exsudação e segregação, e no estado endurecido, como durabilidade, resistência à compressão e à tração e fluência, que ocorre devido ao seu efeito fíler e pozolânico (KULAKOWSKI, 2002).

a) Propriedades mecânica

É significativo o aumento da resistência à compressão do concreto com adições de sílica ativa em comparação aos concretos convencionais, e o incremento da sua resistência é melhor compreendido quando se conhece sua microestrutura e as transformações que ocorrem na zona de transição entre pasta e agregado (KULAKOWSKI, 2002).

Segundo Monteiro (1985), o aumento da resistência da pasta se deve ao fato da sílica ativa possuir elevada capacidade de reagir com o Ca(OH)_2 da matriz, formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), composto responsável por provocar alteração na estrutura dos poros e na quantidade de microfissuras da matriz e da zona de transição, contribuindo para o aumento da resistência final do concreto.

O autor ainda menciona que o fato do tamanho das partículas de sílica ativa serem menores que as do grão de cimento, quando incorporadas à pasta, são responsáveis por afetar o arranjo do sistema, especialmente nas proximidades do agregado, região onde há maior concentração de vazios e maior porosidade. Além disso, acredita que às reações pozolânicas da sílica ativa com o Ca(OH)_2 , por sua vez, criam “pontos de solda” na estrutura da pasta com o agregado e provocam uma densificação da matriz, contribuindo para a

redução do índice de vazios (porosidade) na zona de transição, o que justifica o aumento da resistência.

Estudos conduzidos por Dal Molin (1995) se mostraram promissores no que diz respeito a incorporação da sílica ativa à pastas cimentícia, obtendo um aumento de 7 à 16% na resistência à compressão de concretos, em adições de 10% do material.

b) Durabilidade

A durabilidade de concretos com adições minerais, como a sílica ativa, está intrinsicamente relacionada a alteração da microestrutura da matriz cimentícia, decorrente das reações químicas e físicas, uma vez que há diminuição do transporte de massa no interior do concreto, como água e soluções aquosas (KULAKOWSKI, 2002).

Estudos mostram que concretos com adições pozolânicas se mostram mais eficientes em termos de durabilidade, uma vez que o seu uso possibilita uma maior eficiência na redução dos poros (fase não sólida, correspondendo aos vazios preenchidos pela água ou pelo ar) dos produtos de hidratação, e conseqüentemente menor porosidade do concreto, mostrando um melhor desempenho aos ataques de agentes externos como os cloretos e maior proteção contra corrosão das armaduras (ISAIA, NEVILLE apud HOFFMANN, 2011).

2.5. Caracterização reológica das argamassas autoadensáveis

2.5.1. Propriedades no estado fresco

Os ensaios para as argamassas autoadensáveis realizados no estado fresco são os mesmos utilizados para o concreto autoadensável. Possuem como finalidade avaliar o comportamento das propriedades nesse estado, como fluidez, trabalhabilidade e resistência à segregação.

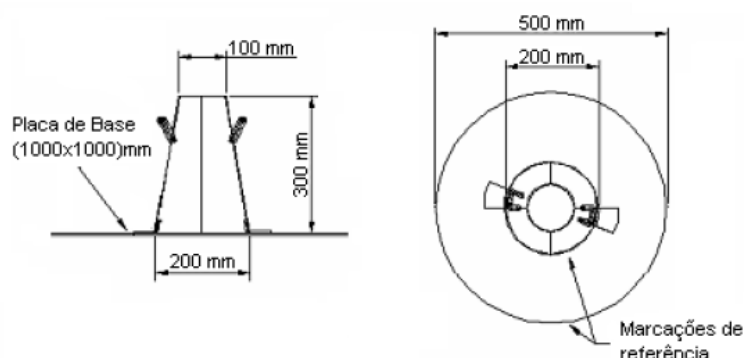
- Ensaio de espalhamento (*Slump flow test*)

O *Slump flow test*, também conhecido como ensaio de espalhamento, é utilizado para avaliar a fluidez da argamassa.

A Figura 1 apresenta o tipo do equipamento utilizado nesse ensaio, bem como as marcações de referência.

Quanto ao seu procedimento, é adaptado para argamassas autoadensáveis, tem-se que primeiramente é importante que se umedeça a placa e o tronco de cone, para que esses não absorvam a água da mistura. Depois que o tronco de cone é moldado com a argamassa, o adensamento ocorre exclusivamente pelo seu peso próprio, dispensando-se o uso da mesa de golpes. Após sua retirada, mede-se o diâmetro de espalhamento nas duas direções perpendiculares, sendo a média dos dois valores o resultado do ensaio, e o indicativo das condições de viscosidade. Além disso mede-se também o tempo que se levou para atingir a marcação de 500mm de diâmetro.

Figura 1 - Ensaio de espalhamento



Fonte: Furnas (2004)

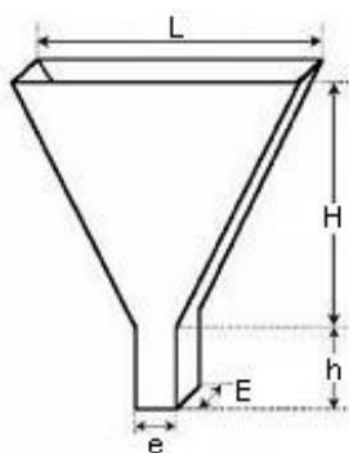
- **Ensaio do funil-V (*V-funnel test*)**

O ensaio funil V, conhecido como ensaio em espaço confinado, avalia de forma indireta, a viscosidade aparente do material, mensurando o tempo que o concreto leva para esvaziar o molde em formato de funil representado na Figura 2.

Para o seu procedimento, conforme realizado em Berté (2013), primeiramente deve-se nivelar e fixar bem o equipamento, de modo que fique fixo durante todo o ensaio. Foi utilizado um funil fabricado, a partir do corte de uma garrafa PET. Assim como o ensaio de espalhamento, é importante que se umedeça o equipamento, para que não ocorra absorção da água da mistura

cimentícia. Em seguida, molda-se o equipamento com a argamassa, cujo adensamento ocorrerá pela ação exclusiva do seu peso próprio. Por fim, abre-se a porta de saída do funil, a fim de liberar o seu escoamento, e mede-se o tempo que o composto leva para esvaziar completamente o equipamento. O material passante pelo funil é recolhido em um balde e pesado imediatamente. Desta forma pode-se avaliar a vazão mássica permitida para uma determinada composição.

Figura 2 - Ensaio de Funil V



Fonte: Furnas (2004)

2.5.1.1. Patologias das argamassas no estado fresco

Como patologias da argamassa no estado fresco podemos citar a segregação e a exsudação, decorrentes de seu mal preenchimento.

- Segregação: pode ser observada na superfície da argamassa quando a pasta de cimento apresentar mais de uma fase, e ocorre quando a mistura não está coesa, resultando na separação das partículas, em que a água se desloca para a borda do círculo, formando as chamadas franjas (NEVILLE, 1997).

A Figura 3 apresenta um caso de segregação.

Figura 3 - Fenômeno da segregação



Fonte: Tecnosil (2020)

Já a exsudação pode ser considerada um caso particular da segregação, e ocorre quando a água proveniente da hidratação do cimento na mistura sobe à superfície, e parte da água da mistura se separa da massa.

A Figura 4 apresenta o fenômeno da exsudação.

Figura 4 - Fenômeno da Exsudação



Fonte: ECivil (2017)

2.5.2. Propriedades no estado endurecido

Assim como para o estado fresco, o estudo das propriedades para o estado endurecido é semelhante às de argamassas convencionais. Dentre as suas propriedades, segundo Klug e Holchmacher (2002) podemos citar as modificações na microestrutura, já que uma maior quantidade de finos promove

menores índices de vazios, proporcionando maior densidade, assim os concretos e argamassas se tornam mais estáveis. Além disso, o maior teor de finos promove modificações na composição da mistura, pois sua presença, aliada a menor granulometria, promovem alterações na composição do esqueleto granular, podendo influenciar os valores de resistência à tração e à compressão.

Desse modo, os ensaios realizados no estado endurecido, têm a finalidade de avaliar essas características, e são eles: ensaio de resistência à compressão e à tração.

- Resistência à compressão

Dentre os parâmetros que influenciam na resistência à compressão podemos citar as relações a/c, a composição da mistura, o tipo de cimento e aditivo empregados.

O ensaio de resistência à compressão preconizado pela norma NBR 5739 (ABNT, 2007), é baseado na moldagem de corpos de prova cilíndricos de argamassa/concreto que devem ser desenhados, e posteriormente, levados para o processo de cura em câmara úmida, até que se atinja a idade para rompimento. Depois de regularizados ou capeados, são submetidos ao ensaio.

A resistência à compressão axial é obtida segundo a Equação 1.

$$f_c = \frac{F}{A} \quad [\text{Eq. 1}]$$

em que:

f_c – resistência à compressão axial (MPa);

F – força máxima obtida no ensaio (N);

A – área da seção transversal do corpo de prova (mm²).

- Resistência à tração

O ensaio de resistência à tração é previsto pela NBR 7222 (ABNT, 2011), onde os corpos de prova são moldados e rompidos no sentido longitudinal.

A resistência à tração por compressão diametral é obtida pela Equação 2.

$$f_{t,D} = \frac{2F}{\pi d L} \quad [\text{Eq. 2}]$$

em que:

$f_{t,D}$ – resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F – força máxima obtida no ensaio (N);

d – diâmetro do corpo de prova (mm);

L – altura do corpo de prova (mm).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho são descritos a seguir:

- **Cimento Portland**

Trata-se do Cimento Portland CP II-Z-32. Com diversas possibilidades de aplicação, o CP II-Z-32 leva em sua composição entre 6 e 14% de material pozolânico, e é responsável por conferir ao concreto menor permeabilidade, além de conter até 10% de adição de material carbonático.

- **Agregado miúdo**

Como agregado miúdo, utilizou-se areia natural de origem sedimentar, cujas propriedades físicas encontram-se descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização do agregado miúdo

$\phi_{\text{máximo}}$ (mm)	Módulo de finura	ρ (g/cm ³)	ρ_{absoluta} (g/cm ³)	Absorção (%)	Material pulverulento (%)
4,75	2,51	1,51	2,646	0,38	0,26

Fonte: Próprio autor

- **Adição mineral**

Como adição mineral, foi empregada a sílica ativa, e sua caracterização física pode ser verificada na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização da sílica ativa

$\phi_{\text{médio}}$ (mm)	Teor de SiO ₂ (%)	ρ (g/cm ³)	Superfície específica (m ² /kg)
4,75	2,51	2,22	2,646

Fonte: Próprio autor

- **Aditivo superplastificante**

Foi utilizado aditivo superplastificante de ação esférica e eletrostática.

- **Água**

Utilizou-se água potável da rede pública de abastecimento de Ilha Solteira - SP.

3.2. Métodos

Abaixo é descrita a metodologia aplicada no presente trabalho:

- i) Mantendo-se fixa a relação água/cimento (a/c) em 0,68, foram moldados corpos de prova nos quais estabeleceram-se composições com variações na relação fíler/cimento (f/c) em três níveis: 0,15, 0,25 e 0,35;
- ii) Mantendo-se fixa a relação fíler/cimento (f/c) em 0,15, foram moldados corpos de prova nos quais variaram-se a relação água/cimento (a/c) em três níveis: 0,68, 0,63 e 0,55.

Além disso, procurou-se manter em quantidades próximas a relação superplastificante/cimento (s/c).

A configuração dos traços em massa utilizada pode ser verificada na Tabela 3, e em termos de relação água/cimento, fíler/cimento e superplastificante/cimento, nas Tabela 4 e Tabela 1.

Tabela 3 - Configuração das composições em massa (g)

Composição	Traços	a/c	f/c	Cimento (g)	SA (g)	Agregado miúdo (g)	Água (g)	Superplastificante (g)
i)	T1	0,68	0,15	4860	729	11500	3300	44,92
	T2	0,68	0,25	4860	1215	11500	3300	102,67
	T3	0,68	0,35	4860	1701	11500	3300	161
ii)	T4	0,68	0,15	4860	729	11500	3300	44,92
	T5	0,63	0,15	5330	799,5	10940	3320	70
	T6	0,55	0,15	6020	903	9980	3350	80

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Configuração das composições i)

Traços	a/c	f/c	s/c
T1	0,68	0,15	0,923
T2	0,68	0,25	2,112
T3	0,68	0,35	3,312

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 - Configuração das composições ii)

Traços	a/c	f/c	s/c
T4	0,68	0,15	0,923
T5	0,63	0,15	1,313
T6	0,55	0,15	1,290

Fonte: Próprio autor

Para comparar a influência do teor de sílica ativa, foi levado em consideração as composições de argamassas vibradas apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Composições das argamassas vibradas

Traços	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	a/c
TAV1	8150	11000	3260	0,4
TAV2	6680	12030	3340	0,5
TAV3	5660	12740	3400	0,6

Fonte: Próprio autor

3.3. Ensaio realizados

3.3.1. Ensaio no estado fresco

- **Ensaio de espalhamento (*Slump-flow test*)**

Para as seis diferentes composições de argamassas autoadensáveis, realizou-se o ensaio de espalhamento, segundo item 2.5.1.

Um fator importante que deve ser avaliado é a forma da superfície, visto que caso este se apresente em formato circular, é um indicativo de

homogeneidade, além da possível formação de franjas d'água de exsudação.

- ***V-funnel test***

Para as seis diferentes composições adotadas, realizou-se o ensaio V-funnel, conforme item 2.5.1, porém adaptado com a utilização de garrafa PET, conforme apresentado por Berté (2013).

A Figura 5 ilustra o funil utilizado na experiência.

Figura 5 – Funil utilizado para avaliação de vazão mássica



Fonte: Próprio autor

- **Ensaio massa específica aparente**

Realizou-se o ensaio para a avaliação da massa específica aparente, através da medição da massa do material moldado em uma forma rasada de volume e peso conhecidos.

3.3.2. Ensaaios no estado endurecido

Realizou-se o ensaio de resistência à compressão axial, conforme prescrito pela NBR 5739 (ABNT, 2007), e de tração por compressão diametral, NBR 7222 (ABNT, 2011), e a avaliação da absorção d'água, conforme a NBR 7215 (ABNT, 2007).

Para essas avaliações, foram utilizados corpos de prova cilíndricos, de dimensões 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, sendo adotado 3 unidades por traço e idade de cura. Já a cura dos corpos de prova foi realizada em câmara úmida, sendo mantidos a condições controladas de temperatura e umidade de aproximadamente 22°C e 100%, respectivamente.

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados em estado fresco e endurecido.

4.1. Resultados no estado fresco

Os resultados dos ensaios serão apresentados segundo às condições de fluidez, segregação e massa específica aparente, em função da influência da sílica ativa, dentro das seguintes condições:

- i) fixação da relação água/cimento, e variação da relação fíler/cimento;
- ii) variação da relação água/cimento a partir da fixação da relação fíler/cimento.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos no ensaio de espalhamento.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de espalhamento (Slump Flow Test)

Composição	Traços	a/c	f/c	Φ espalhamento (cm)
i)	T1	0,68	0,15	34
	T2	0,68	0,25	37
	T3	0,68	0,35	32
ii)	T4	0,68	0,15	34
	T5	0,63	0,15	33,5
	T6	0,55	0,15	35

Fonte: Próprio autor

Já as Tabela 8 e Tabela 9 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de escoamento confinado (*V-funnel*), e de massa específica aparente.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de escoamento confinado (V-funnel)

Composição	Traços	a/c	f/c	Vazão (g/s)
i)	T1	0,68	0,15	236
	T2	0,68	0,25	246
	T3	0,68	0,35	234
ii)	T4	0,68	0,15	236
	T5	0,63	0,15	275
	T6	0,55	0,15	183

Fonte: Próprio autor

Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio da massa específica aparente

Composição	Traços	a/c	f/c	$\rho_{\text{aparente}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
i)	T1	0,68	0,15	2,08
	T2	0,68	0,25	2,067
	T3	0,68	0,35	2,147
ii)	T4	0,68	0,15	2,08
	T5	0,63	0,15	2,06
	T6	0,55	0,15	2,33

Fonte: Próprio autor

4.2. Resultados no estado endurecido

A seguir será apresentado os resultados obtidos nos ensaios do estado endurecido: resistência à compressão simples, tração por compressão diametral, e absorção d'água.

4.2.1. Resultados de resistência à compressão axial

As Tabela 10 e Tabela 11 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Tabela 10 - Resultados de resistência à compressão axial – 7 dias

Composição	Traços	Média (MPa)	σ	cv (%)
i)	T1	13,39	1,37	10,21
	T2	19,7	2,45	12,45
	T3	22,39	0,97	4,35
ii)	T4	13,39	1,37	10,21
	T5	21,6	1,06	4,93
	T6	21,6	2,71	12,55

Fonte: Próprio autor

Tabela 11 - Resultados de resistência à compressão axial – 28 dias

Composição	Traços	Média (MPa)	σ	cv (%)
i)	T1	31,99	2,77	8,66
	T2	30,59	3,83	12,53
	T3	25,74	5,22	16,62
ii)	T4	31,99	2,77	8,66
	T5	23,24	1,53	7,06
	T6	39,72	4,07	10,25

Fonte: Próprio autor

4.2.2. Resultados de resistência à tração por compressão diametral

As Tabela 11 e Tabela 12 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, aos 7 e 28 dias de cura, respectivamente.

Tabela 12 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral – 7 dias

Composição	Traços	Média (MPa)	σ	cv (%)
i)	T1	3,4	0,07	2,18
	T2	2,31	0,2	8,51
	T3	2,02	0,26	12,78
ii)	T4	3,4	0,07	2,18
	T5	3,11	0,75	24,01
	T6	2,46	0,26	10,51

Fonte: Próprio autor

Tabela 13 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral – 28 dias

Composição	Traços	Média (MPa)	σ	cv (%)
i)	T1	4,71	0,14	3,26
	T2	2,95	0,63	21,54
	T3	3,26	0,30	9,05
ii)	T4	4,71	0,14	3,26
	T5	3,43	0,87	25,14
	T6	1,93	0	0

Fonte: Próprio autor

4.2.3. Absorção d'água

A Tabela e apresenta os valores da absorção d'água encontrados para as composição realizados, aos 28 dias de cura.

Tabela 14 - Valores de absorção d'água aos 28 dias

Composição	Traços	Média (%)	σ	cv (%)
i)	T1	12	0,20	1,715
	T2	14,46	1,684	11,676
	T3	12,26	0,582	4,749
ii)	T4	12	0,20	1,715
	T5	8,1	1,75	21,01
	T6	10,86	1,03	9,053

Fonte: Próprio autor

4.3. Resultados das argamassas vibradas (referência)

A seguir será apresentado os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão simples para as argamassas vibradas, aos 7 e 28 dias de cura, conforme apresentado na Tabela 15 e Tabela 16.

Tabela 15 - Resistência à compressão axial aos 7 dias de cura das argamassas vibradas

Traços	Média (MPa)
TAV1	25,58
TAV2	19,50
TAV3	18,66

Fonte: Próprio autor

Tabela 16 - Resistência à compressão axial aos 28 dias de cura das argamassas vibradas

Traços	Média (MPa)
TAV1	29,75
TAV2	28,05
TAV3	23,03

Fonte: Próprio autor

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Discussão dos resultados no estado fresco

5.1.1. Diâmetro de espalhamento

Na Tabela 17 é possível verificar a variação percentual acumulada das relações superplastificante/cimento e fíler/cimento, quando consideradas as variações de sílica ativa, mantendo-se fixada a relação água/cimento em 0,68.

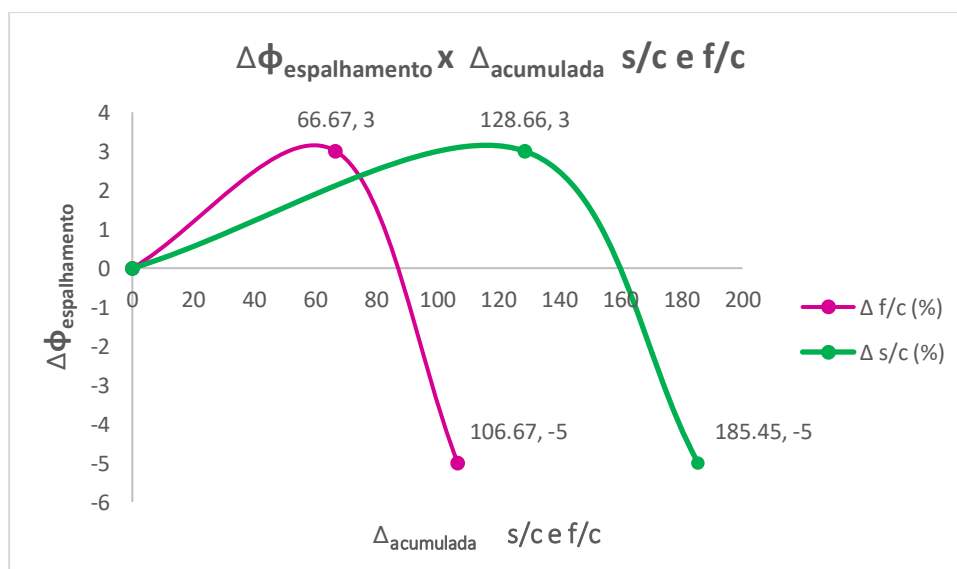
Tabela 17 - Variação percentual acumulada das relações superplastificante/cimento e fíler/cimento

Traços	a/c	f/c	$\phi_{\text{espalhamento}}$ (cm)	$\Delta_{\text{referência f/c}}$	$\Delta_{\text{relação s/c}}$	$\Delta_{\text{relação f/c}}$	$\Delta\phi_{\text{espalhamento}}$
T1	0,68	0,15	34	0,15-0,15	0	0	0
T2	0,68	0,25	37	0,15-0,25	128,82	66,67	3
T3	0,68	0,35	32	0,25-0,35	185,64	106,67	-5

Fonte: Próprio autor

Já na Figura 6 é possível visualizar os dados obtidos na Tabela 17.

Figura 6 - Variação percentual acumulada das relações s/c e f/c



Fonte: Próprio autor

É possível concluir a partir da Figura 6 que dado que o teor de superplastificante foi aplicado de modo empírico, tem-se que a quantidade deste foi gradualmente incrementada, em necessidade imposta pelo aumento

da relação fíler/cimento, de modo a poder alcançar as condições de espalhamento próximas às que haviam sido alcançadas para os casos anteriores.

Assim, observa-se que inicialmente o aumento do teor de superplastificante contribuiu para a elevação do diâmetro de espalhamento, não obstante a influência do aumento da sílica ativa em composição; todavia no momento em que a composição de f/c 0,25 passa para f/c 0,35, o aumento na dosagem da sílica ativa implicou em redução do diâmetro de espalhamento, sendo ineficaz a quantidade adicional de superplastificante, estando a mistura sujeita a redução da coesão interna, com consequente refreamento do espalhamento.

Observa-se, então, que a sílica ativa como um fíler tem um papel de formação de pasta, contribuindo para a coesão interna da mistura, que pode ser justificado pela sua elevada superfície específica e atividade físico-química.

Por outro lado, o incremento do superplastificante dentro de teores excessivos, pode implicar em avarias dentro do processo reológico, contribuindo para os processos de exsudação e de segregação interna, e mais, pode-se concluir que os teores adicionais de superplastificante podem levar ao aumento excessivo da relação s/c, além dos limites tolerados que são impostos pelos fabricantes. Este fato foi observado no presente trabalho, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Manifestação de segregação em superfície de espalhamento



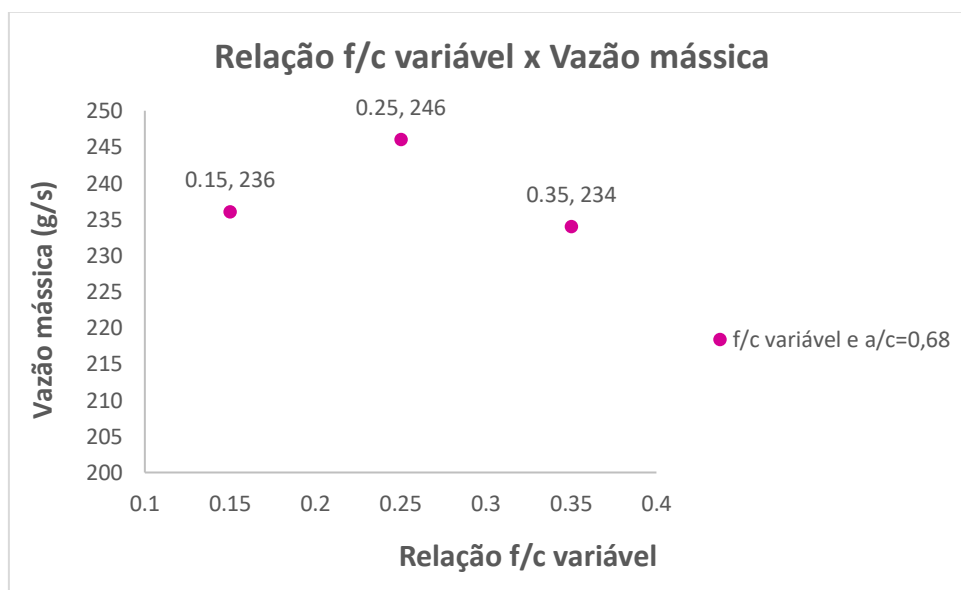
Fonte: Próprio Autor

Para os casos do diâmetro de espalhamento dentro das condições em que se manteve a relação f/c constante em 0,15, variando-se a relação a/c , nota-se conforme a Tabela 7 do item 4.1, uma menor amplitude nos valores dos diâmetros de espalhamento. A fluidificação é influenciada pela relação água/cimento, e estas estiveram também sujeitas à influência do teor de superplastificante.

5.1.2. Vazão mássica em escoamento confinado

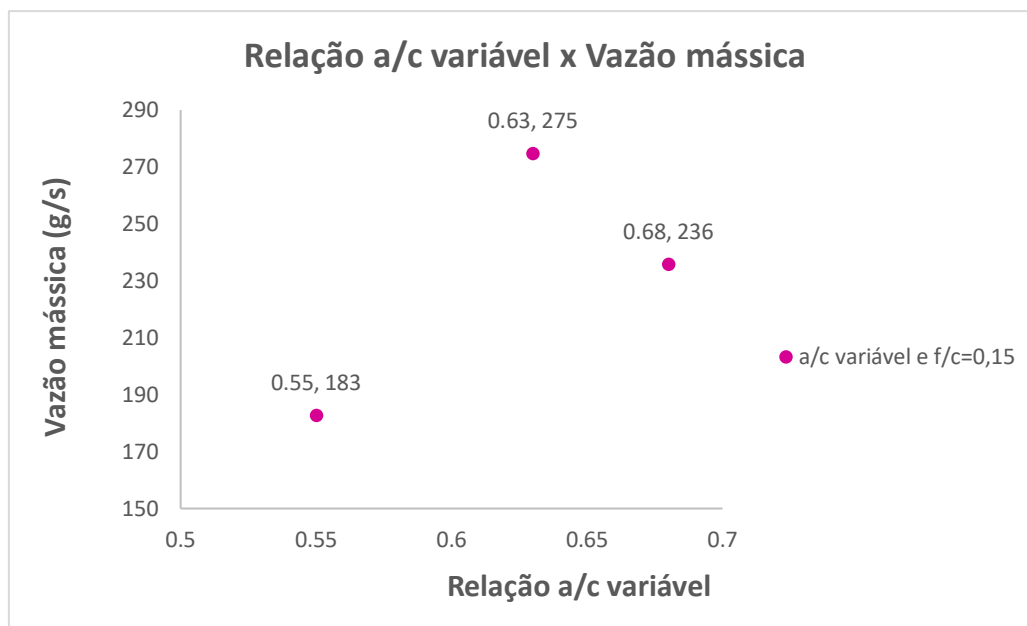
As Figura 8 e Figura 9 ilustram as variações da vazão mássica em escoamento confinado através do funil, mantendo-se fixo o valor da relação água/cimento em 0,68, e variando a relação fíler/cimento, e mantendo-se fixada em 0,15 a relação fíler/cimento, e variando a relação água/cimento, respectivamente.

Figura 8 - Vazão mássica em escoamento confinado através do funil x Relação f/c



Fonte: Próprio autor

Figura 9 - Variações da vazão mássica em escoamento confinado através do funil x Relação a/c



Fonte: Próprio autor

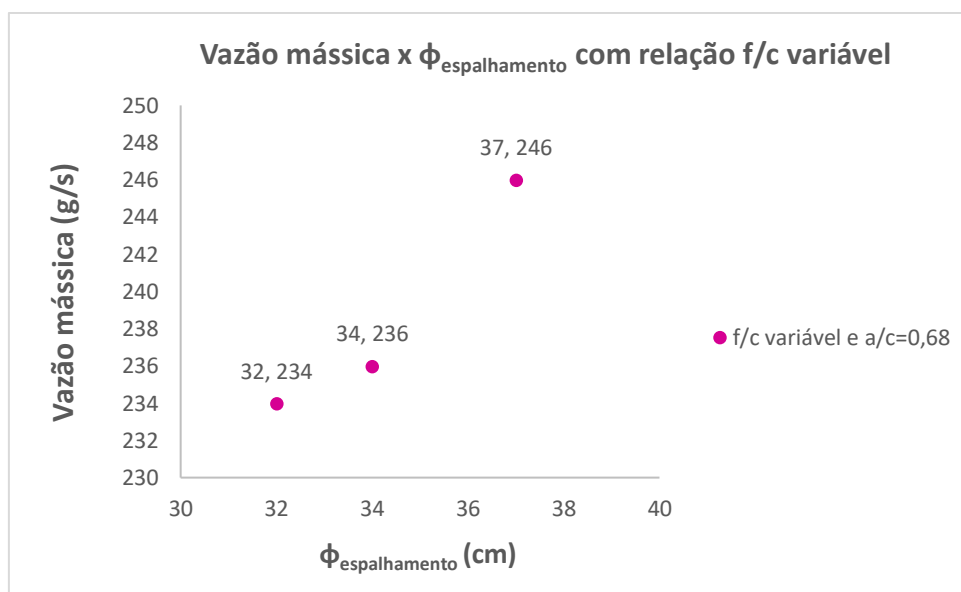
É possível observar a partir da Figura 8, que a vazão mássica apresentou um aumento com o incremento do teor de sílica ativa, variando f/c 0,15 para f/c 0,25, provavelmente em decorrência da fluidificação da mistura pelo aumento da relação superplastificante/cimento. Todavia, quando considerado o caso do aumento de f/c 0,25 para 0,35 nota-se uma queda no valor da vazão mássica, provavelmente em decorrência das perturbações internas criadas no interior da massa em decorrência do aumento da sílica ativa, acarretando um regime reológico instável, realçada pelo aumento da coesão interna do material.

Já por meio da Figura 9, caso em que se manteve fixo o valor da relação fíler/cimento em 0,15, pode se observar que existe um indicativo para a tendência de haver um maior valor da vazão mássica, razão do teor de fíler ser constante, permitindo melhor fluidificação pelo aumento da relação água/cimento. No entanto, o valor se mostra atípico para o caso da mistura a partir de a/c 0,63.

5.1.3. Relações entre os resultados sobre variáveis do estado fresco

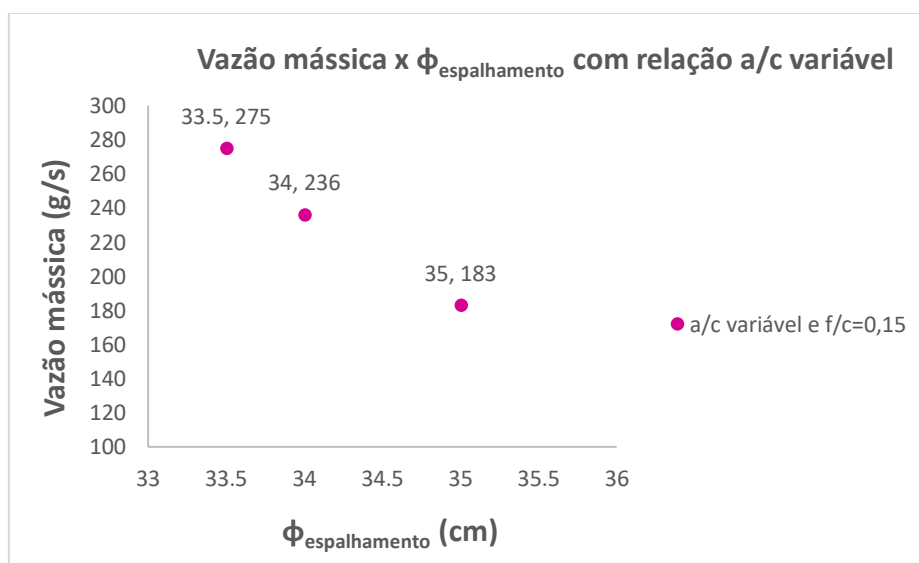
As Figura 10 e Figura 11 apresentam as relações entre os valores do diâmetro de espalhamento e da vazão mássica, no primeiro caso se mantendo a relação água/cimento fixada em 0,68, e variando a relação fíler/cimento, enquanto que no segundo manteve-se constante a relação fíler/cimento em 0,15, e variou a relação água/cimento.

Figura 10 - Vazão mássica x Diâmetro de espalhamento com f/c variável



Fonte: Próprio autor

Figura 11 - Vazão mássica x Diâmetro de espalhamento com a/c variável

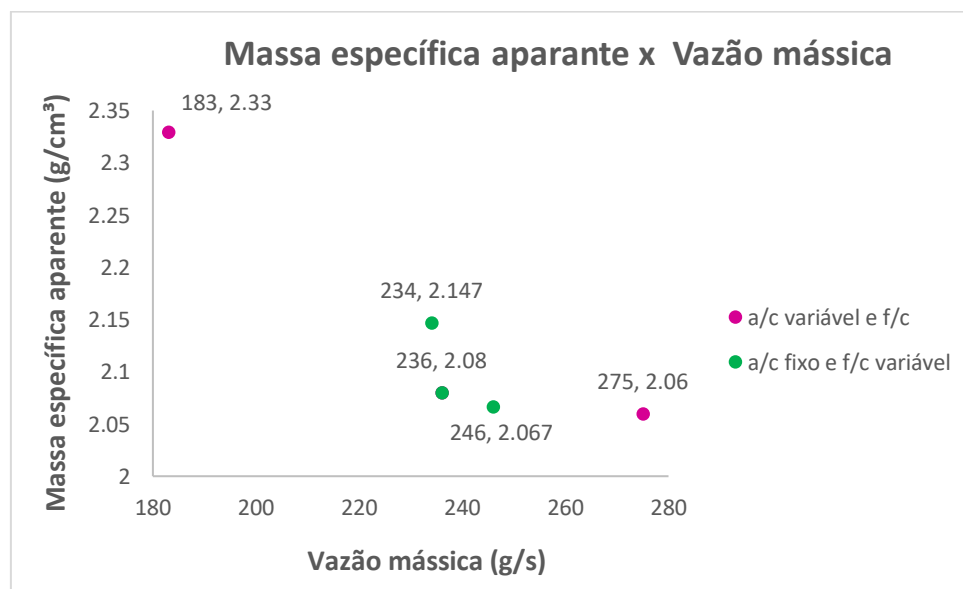


Fonte: Próprio autor

Através da Figura 10 e Figura 11 se pode inferir que as duas propostas, de se manter fixo o valor da relação água/cimento, variando-se a relação fíler/cimento, e a de se manter fixas as relações fíler/cimento, e de se variar a relação água/cimento se comportam de modo distinto neste trabalho, visto que, para o primeiro caso, as relações entre os valores do diâmetro de espalhamento e a da vazão mássica são ditadas pela influência da porcentagem de sílica ativa na mistura, atribuindo viscosidade e coesão por meio de formação de pasta, enquanto que, para o outro caso, onde a relação fíler/cimento é constante, a diferença se fará pelos agentes de fluidez, dados pela água e pelo superplastificante. As variáveis são inversamente proporcionais, visto que, para o segundo caso, a acentuação da viscosidade pode contribuir para um melhor disciplinamento da passagem do material pelo funil.

Na Figura 12 pode-se verificar um quadro do valor da massa específica aparente para todos os casos de composições apresentadas em função da relação entre a vazão mássica em escoamento confinado em ensaio de funil.

Figura 12 - Relação entre o valor da massa específica aparente em função da vazão mássica em ensaio de funil v.



Fonte: Próprio autor

Conforme observação da Figura 12, pode-se inferir que os valores da vazão mássica são incrementados a partir de um determinado valor limite para

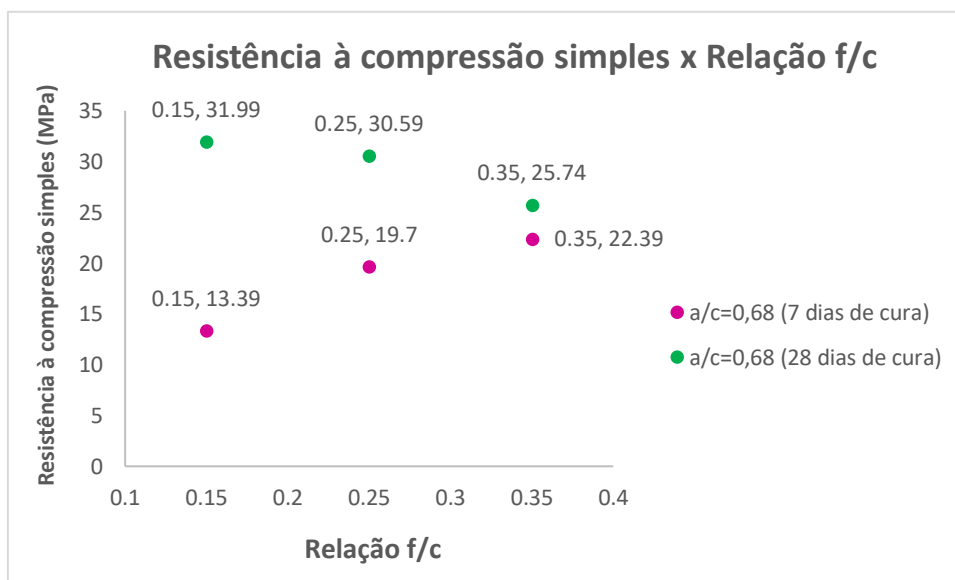
a massa específica aparente. Neste sentido, a tecnologia das argamassas pode ser penalizada pelo aumento excessivo da massa específica aparente.

5.2. Discussão de resultados no estado endurecido

5.2.1. Resistência à compressão axial

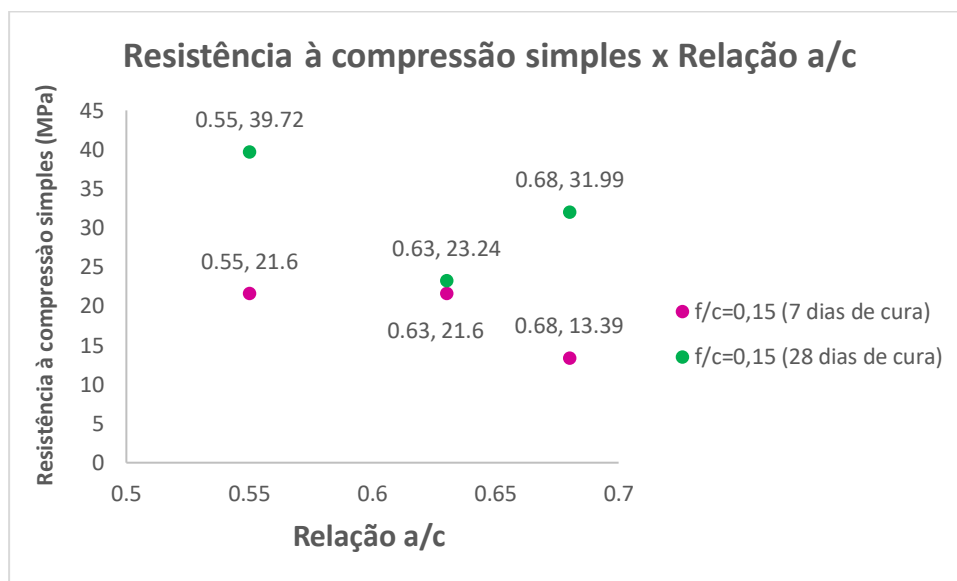
As Figura 13 e Figura 14 apresentam as variações da resistência mecânica à compressão axial em função da variação das relações fíler/cimento, com a relação água/cimento fixada em 0,68, e também em função da variação da relação água/cimento, com a relação fíler/cimento fixada em 0,15, respectivamente, para 7 e 28 dias de cura, para ambos os casos.

Figura 13 - Resistência mecânica à compressão simples x Relação f/c, aos 7 e 28 dias de cura



Fonte: Próprio autor

Figura 14 - Resistência mecânica à compressão simples x Relação a/c, aos 7 e 28 dias de cura



Fonte: Próprio autor

Pela observação das Figura 13 e Figura 14, pode-se inferir que para os casos distintos de composição o desempenho também se dá de modo distinto. Duas coisas se colocam em evidência: a influência do teor de sílica ativa, e o tempo de cura.

Para o primeiro caso, se pode observar a influência da quantidade de sílica ativa nos primeiros 7 dias de cura, contribuindo para o aumento do valor da resistência mecânica, contudo, para idades mais avançadas, de 28 dias, aparentemente o ganho de resistência mecânica se apresenta menor com o aumento do teor de sílica ativa, por duas possíveis razões: a influência do teor de sílica ativa na hidratação, aprisionando parte da água de hidratação, ou dificultando a difusão interna de água no interior da pasta.

Para o segundo caso, onde a relação fíler/cimento é constante, observa-se que a relação água/cimento tende a ditar o processo, com oscilações de resultados para a composição 0,63. Vale salientar que esta composição exibiu valores menores quanto ao espalhamento, para menores condições de viscosidade, atestadas pelo ensaio do funil.

Ainda se pode considerar a influência da segregação para os casos que se afastam dos resultados médios, como nos casos das composições a/c=0,68 e f/c=0,35, e a/c=0,63 e f/c=0,15.

Conforme as Figura 14 “a” e “b”, a segregação e a exsudação contribuem para a formação de regiões diferenciadas nos corpos de prova.

Figura 15 - Aspectos de corpos de prova moldados com misturas com e sem manifestação de segregação

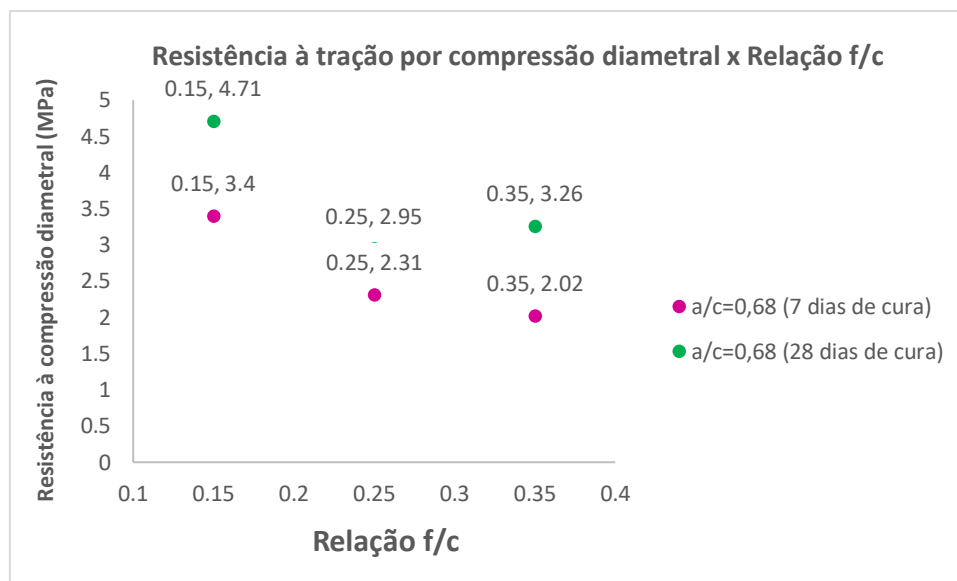


Fonte: Próprio autor

5.2.2. Resistência à tração por compressão diametral

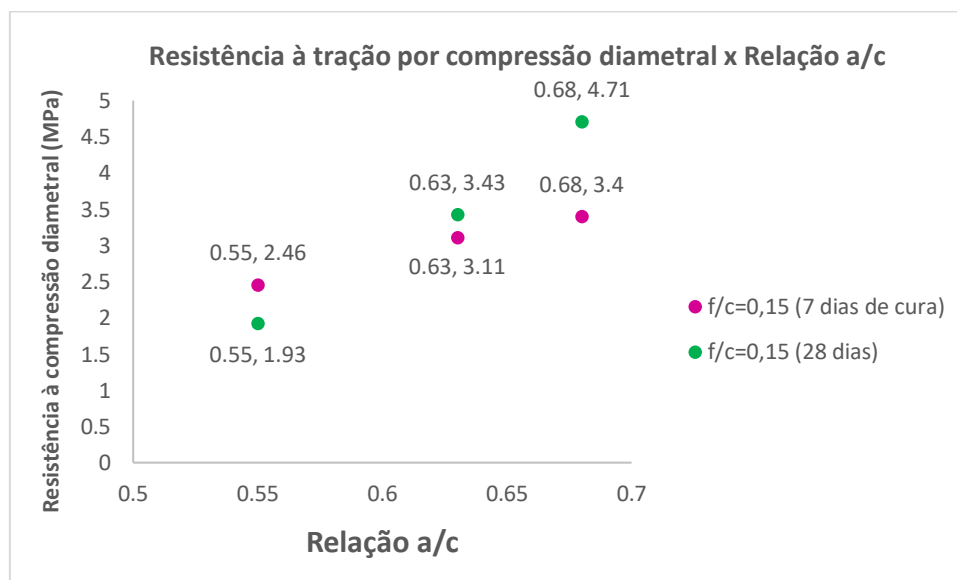
As Figura 16 e Figura 17 apresentam as variações da resistência mecânica à tração por compressão diametral, em função da variação das relações fíler/cimento, no caso de se manter a relação água/cimento fixada em 0,68, e em função da relação água/cimento variável, com relação fíler/cimento fixada em 0,15, para 7 e 28 dias de cura, em ambos os casos.

Figura 16 - Resistência mecânica à tração por compressão diametral x Relação f/c , aos 7 e 28 dias de cura



Fonte: Próprio autor

Figura 17 - Resistência mecânica à tração por compressão diametral x Relação a/c , aos 7 e 28 dias de cura



Fonte: Próprio autor

Pela observação das Figura 16 e Figura 17 pode-se inferir que, para os casos distintos de composição o desempenho com relação à resistência à compressão diametral também se dá de modo distinto, da mesma maneira que no caso da resistência à compressão simples. Nota-se também que, a influência

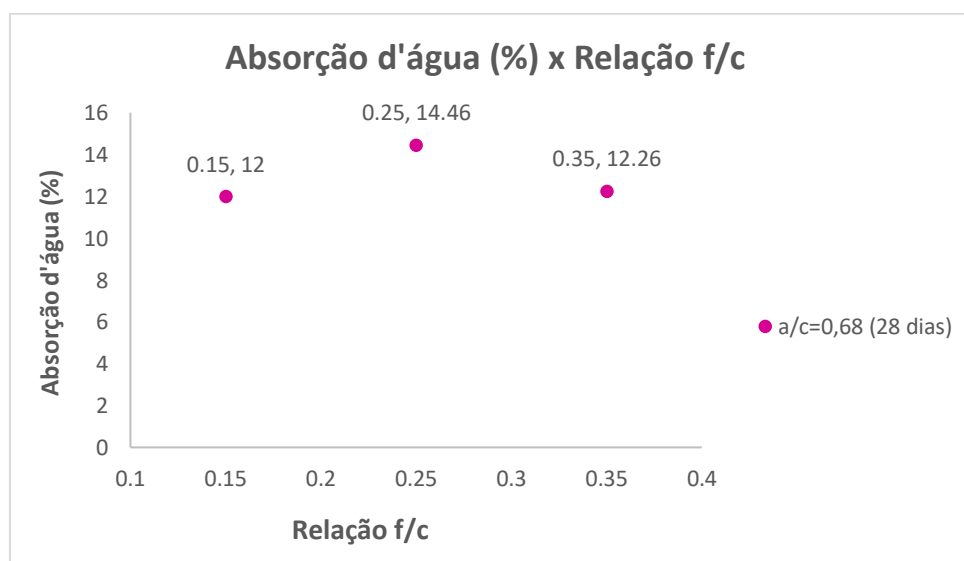
do teor de sílica ativa, e o tempo de cura não tendem a alterar as tendências de crescimento com o teor de sílica ativa.

Para o primeiro caso, se pode observar a possível influência da sílica ativa diminuindo os valores da resistência à compressão diametral tanto para 7 como 28 dias de cura, contribuindo para a fragilidade do material diante dos esforços internos de tração, em decorrência da possível segregação interna, fato este que confirma também o desempenho ocorrido para os casos anteriormente apresentados com relação à resistência à compressão simples; para o segundo caso, onde a relação fíler/cimento é constante, observa-se que a relação água/cimento tende a ditar o processo, com o crescimento em função do valor da relação água/cimento, em que é possível observar um aumento na resistência mecânica, mesmo que os valores tenham se mostrado bem próximos para os traços iniciais ($a/c=0,55$ e $a/c=0,63$), com melhora significativa de 32% no traço $a/c=0,68$.

5.2.3. Absorção d'água

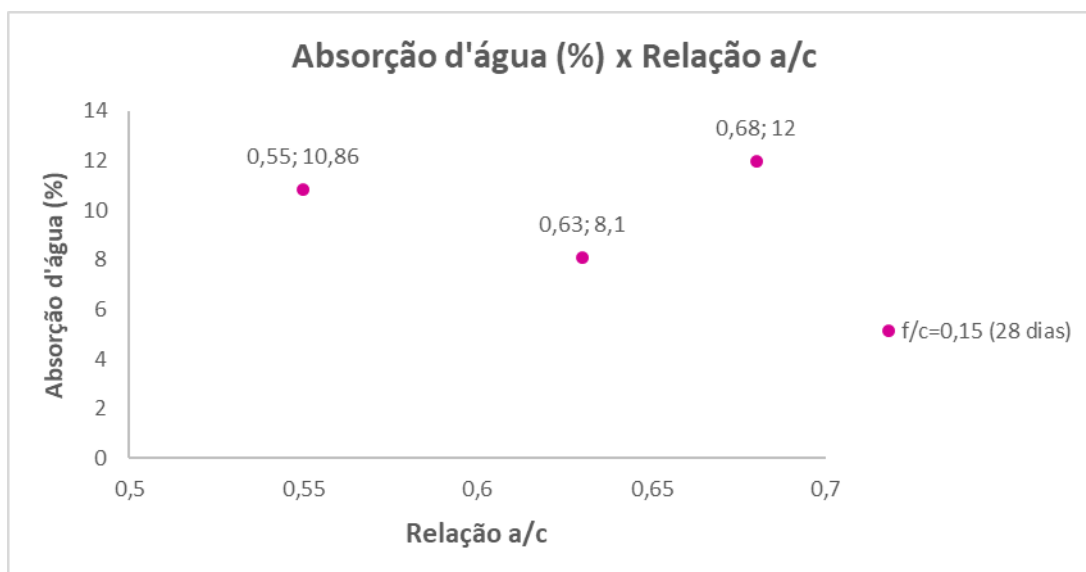
As Figura 18 e Figura 19 apresentam a variação da absorção d'água para os casos de composições, com a relação água/cimento contante e fíler/cimento variável, ou com a relação fíler/cimento constante e água/cimento variável.

Figura 18 - Variações da absorção d'água aos 28 dias de cura, em função da variação das relações fíler/cimento



Fonte: Próprio autor

Figura 19 - Variações da absorção d'água aos 28 dias de cura, em função da variação das relações água/cimento



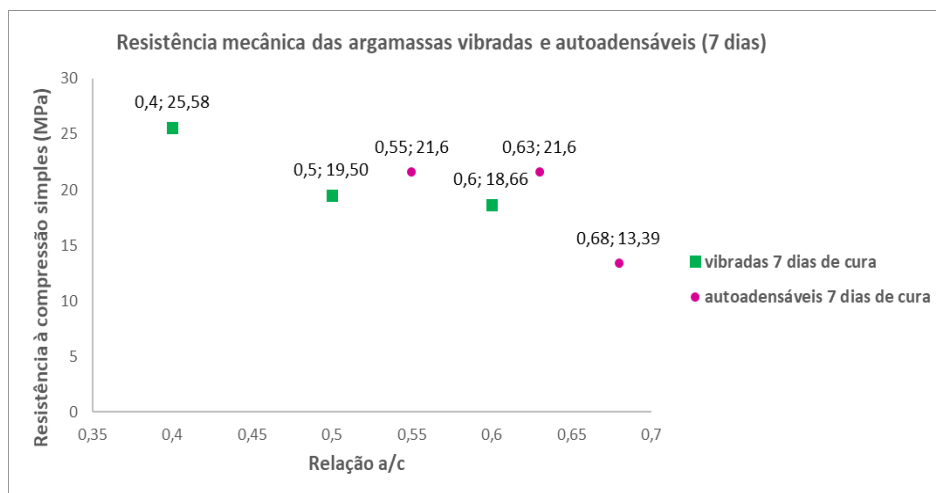
Fonte: Próprio autor

Observando os valores das Figura 18 e Figura 19 se percebe que, estes indicam, em primeiro lugar, que a absorção d'água tende a ser maior para com o aumento da sílica ativa, embora haja uma oscilação de resultados. Para os casos onde o teor de sílica é constante, a absorção d'água tende a variar inversamente com o fator água/cimento, como nos casos de concretos e argamassas, embora também existe oscilação de resultados.

5.3. Comparação com argamassas vibradas sem o uso da sílica ativa

A Figura 20 apresenta a comparação dos resultados de resistência à compressão axial aos 7 dias de cura, para as argamassas convencionais vibradas (sem adição de sílica ativa) e as argamassas autoadensáveis com adição de sílica ativa, variando-se as relações água/cimento e fixando as relações filer/cimento.

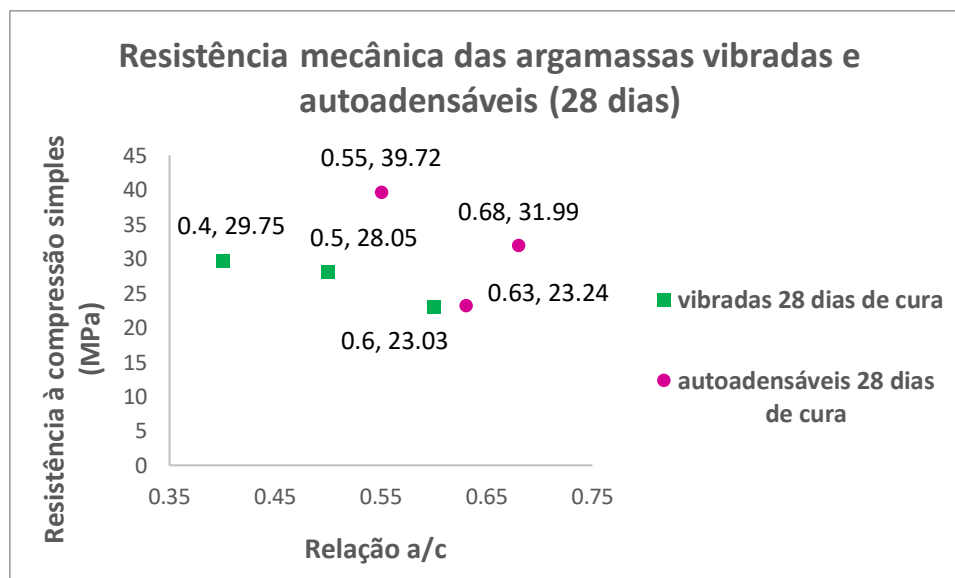
Figura 20 - Resistência mecânica das argamassas vibradas e autoadensáveis com 7 dias de cura x Relação água/cimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Já a Figura 21 apresenta a resistência à compressão simples aos 28 dias de cura, seguindo os mesmos critérios mencionados anteriormente.

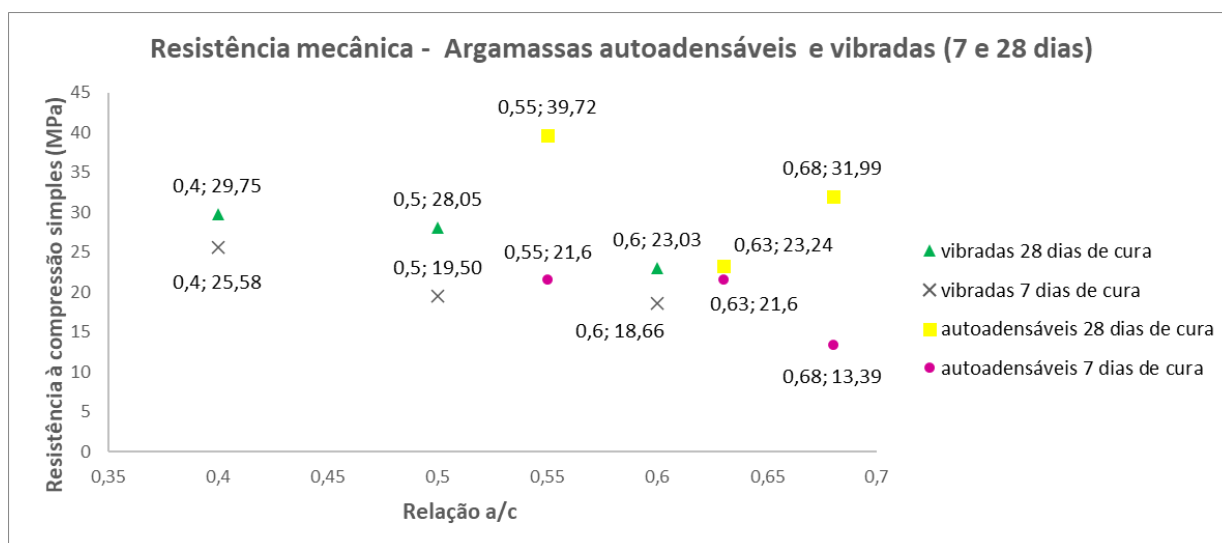
Figura 21 - Resistência à compressão simples das argamassas vibradas e autoadensáveis aos 28 dias de cura x Relação água/cimento



Fonte: Próprio autor

Finalmente, a Figura 22 apresenta o resultado dos ensaios de resistência à compressão simples, comparando as argamassas autoadensáveis e vibradas, com 7 e 28 dias.

Figura 22 – Comparação da resistência à compressão simples das argamassas vibradas e autoadensáveis com 7 e 28 dias de cura x Relação água/cimento



Fonte: Próprio autor

Observa-se, pela Figura 20 e Figura 21, que a presença da sílica ativa contribuiu com um aumento de resistência significativo, proporcionando um aumento de até 42% na resistência mecânica, mesmo que para diferentes relações de a/c, principalmente aos 28 dias, em decorrência de sua possível atuação como efeito fíler ou pozolânico, comparativamente aos casos onde elas não foram aplicadas.

A partir da Figura 22 nota-se também que a influência do teor de sílica ativa e o tempo de cura tendem a alterar as tendências de crescimento com o teor de sílica ativa. Para o caso de 7 dias de cura, percebe-se que a presença de sílica ativa apresentou ganho de resistência mecânica para as menores relações água/cimento, em que possivelmente para relações a/c superiores a 0,63, o teor de sílica ativa tenha aprisionado parte da água de hidratação, dificultando a difusão interna de água no interior da pasta. Para idades mais avançadas, de 28 dias de cura, o ganho de resistência mecânica das argamassas autoadensáveis se tornam ainda mais significativos, mesmo em valores mais elevados da relação água/cimento, e para um consumo menor de cimento.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se que foi possível fazer algumas análises dentro do escopo do trabalho, fornecendo respostas quanto ao caráter reológico do material no estado fresco, e quanto a sua influência no estado endurecido.

Observou-se que dentro das condições de fixação da relação água/cimento em 0,68, o incremento da incorporação da sílica ativa contribuiu para a interferência sobre as condições de fluidez pelo aumento da coesão interna, requerendo quantidades extras de superplastificante para manter os níveis alcançados, e induzindo à segregação em alguns casos. No caso da fixação da relação fíler/cimento em 0,15, a fluidificação se deu pela influência da água e do superplastificante.

Com relação à resistência mecânica, para os casos da adição crescente de sílica ativa, não se constatou crescimento com o incremento do teor de sílica ativa, e, para o caso da fixação do teor de fíler, a influência da relação água/cimento foi relevante para o aumento da resistência mecânica, proporcionando uma melhoria de 39%.

Os níveis de absorção d'água pouco foram favorecidos com a influência da sílica ativa, sendo preferencialmente influenciados pela relação água/cimento.

Comparando-se os casos de argamassas sem sílica ativa, e as que tem a incorporação da sílica, dentro da presente experiência, se observou que a sílica ativa trouxe ganho de resistência significativos de até 42%, mesmo em valores mais elevados da relação água/cimento, e para um consumo menor de cimento, nas idades mais avançadas de 28 dias de cura.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se aprofundar o escopo econômico do tema, visto que a sílica ativa substitui parcialmente o cimento, dessa forma seria interessante investigar se essa substituição se traduz em ganhos financeiros também.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto. Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

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

ALCANTARA, M.A.M; LORRAIN, M.; BARBOSA.M.P. **A avaliação da influência da posição da armadura no desenvolvimento das tensões de aderência na interface entre o concreto auto-adensável e a armadura**. In: 48, Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2004. Anais. IBRACON, 2004, p.76-90.

ALCANTARA, M. A. M.; MELLO, A. B. A. O uso de cinzas de casca de arroz para a produção de argamassas auto adensáveis. In: 57 Congresso Brasileiro do Concreto, 2015, Bonito MS. 57 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo SP:IBRACON, 2015. v. 1. p. 257-257.

ALCANTARA, M. A. M.; MENDES, C. J. O concreto autoadensável com a utilização de cinzas de casca de arroz. In: 57 Congresso Brasileiro do Concreto, 2015, Bonito MS. 57 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2015. v. 1. p. 255-255.

ALCANTARA, M.A.M.; SANTOS, B. V. **O uso de resíduos como finos na fabricação do concreto auto-adensável**. In: Simpósio Latino Americano sobre Concreto Auto-Adensável, 1, 2012, Maceió: IBRACON, 2012.

BENTUR A. **Cimentitious Materials. Nine millenia and a New Century, past, present, future**. Journal of materials of civil engineering, 14-1, ASCE American Society of Civil Engineers Materials Engineering Divisions. 2002.

BERTÉ, S.D.D. Caracterização do solo-cimento auto-adensável. FEIS/UNESP, 2012, 148p. (dissertação de mestrado)

BILLBERG, P. Fine mortars rheology in mix design of SCC. In: First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 1999, Estocolmo, SWE. **Proceedings pro007...** Estocolmo: 1º, 1999. p. 47-58.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. Disponível em: https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Diogo%20Jatoba%20de%20Holanda%20Cavalcanti.pdf. Acesso em: 27 ago. 2023.

EFNARC. **Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. United Kingdom, 2002. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/5e6b93d41858c8369bc361b9/t/5f71af69b66cd43eed898fd3/1601285996901/SCC+Guidelines+02.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

FERREIRA, E. T. D. **Estudo das Propriedades Mecânicas de Argamassas Autoadensáveis com Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Sílica Ativa**. 2016. Dissertação – Programa de Pós Graduação de Engenharia. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016. Disponível em: <http://www.peu.uem.br/DISSERTAOEtienneTainDamacenoFerreira.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

FORNASIER, R. S. **Porosidade e permeabilidade do concreto de alto desempenho com sílica ativa**. 1995, 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/189696/000141522.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 out. 2023

GOMES, Paulo C. C.; BARROS, Alexandre R. de. **Métodos de dosagem de concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini, 2009.

GONÇALVES, J. P.; TAVARES, L. M.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; CUNHA, E. R. Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. **Cement and concrete research**, v. 37, p. 924-932, 2007.

GÜNEYISI, E.; GESOGLU, M.; ALTAN, I.; ÖZ, O. H. Utilization of cold bonded fly ash lightweight fine aggregates as a partial substitution of natural fine aggregate in self-compacting mortars. **Construction and building materials**, v. 74, p. 9-16, 2015.

HERMANN, A.; LANGARO, E. A.; SILVA, S. H. L.; KLEIN, N. S. Empacotamento de partículas de cimento e sílica ativa em pastas pelo uso de modelo analítico. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**, v. 9, n. 1, p. 48-65, fev. 2016.

HOFFMAN, A. T. **Influência da adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos**. 2001, 132 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HOLSCHEMACHER, K. KLUG, Y. **A database for the evaluation of hardened properties of SCC**. LACER, N° 7. 2002. pp. 123-134. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Klaus-Holschemacher/publication/237747806_A_Database_for_the_Evaluation_of_Hardened_Properties_of_SCC/links/55c86a5008aeca747d66a107/A-Database-for-the-Evaluation-of-Hardened-Properties-of-SCC.pdf. Acesso em: 26. Out. 2023.

KHOTBEHSARA, M. M.; MOHSENI, E.; YAZDI, M. A.; SARKER, P.; RANJBAR, M. M. Effect of nano-Cuo and fly ash on the properties of self-compacting mortar. **Construction and building materials**, v. 94, p. 758-766, 2015.

KLUG, Y.; HOLCHMACHER, K. Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete. Rheological measurements on self-compacting fibre reinforced concrete. In: Thirid International Symposium on Self-compacting concrete. 2003, Reykjavik, pp. 596-605.

KULAKOWSKI, M. P. **Argamassa com adição de microssílica para reparos estruturais: estudo da penetração de cloretos**. 1994, 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre.

KULAKOWSKI, M. P. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostas com adição de sílica ativa**. 2002, 199p. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibra de aço**. 2006. Dissertação – Programa de Pós Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2006-1/1649-ederli-marangon-mestrado/file> Acesso em: 26 set. 2023.

MEHTA.P.K.; MALHOTRA, V.M. **Pozzolanic and cementitious materials.**, 1996, p.428. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781482296761>. Acesso em: 26 set. 2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed.** Nicole Hasparyk; Paulo Helene & Vladimir Paulon (Rev. & Trad.). São Paulo, IBRACON, 2008. 674 p. ISBN 978-85-98576-12-1.

MENDES, C. J. **Concreto Autoadensável utilizando Cinza de Casca de Arroz: Estudo das Propriedades Mecânicas.** 2015. Dissertação – Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Ilha Solteira, 2015.

MOLIN, D. C. C. D.; OLIVEIRA, A. P. M.; KULAKOWSKI, M. P. **Estudo de concretos com adição de sílica ativa (microssilica) frente ao ataque de agentes agressivos para emprego em pisos especiais.** Disponível em: <[http://www.tecnosilbr.com.br/wp-content/themes/tecnosilbr/estudos/Estudo_de_Concretos_com_Adicao_de_Silica_Ativa_\(Microssilica.pdf](http://www.tecnosilbr.com.br/wp-content/themes/tecnosilbr/estudos/Estudo_de_Concretos_com_Adicao_de_Silica_Ativa_(Microssilica.pdf)>. Acesso em 02 out. 2023.

MOLIN, D. C. C. D. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adição de microssilica.** 1995, 186p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MONTEIRO FILHA, D. C.; COSTA, A. C. R.; ROCHA, E. R. P. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil.** BNDES Setorial, v. 31, p. 353 - 410. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3110.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: Pini, 1997, 828p.

NEVES, D. N. A. **Betão autocompactável na região autônoma da Madeira:** da composição de laboratório à comercialização. Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira, UMA, Centro de Ciências Exatas e Engenharia, Funchal, 2013.

NUNES, S.C.B. **Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades.** Pós Graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto. 2001, p.198. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/11114/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 09 set. 2023.

REPETTE, Wellington Longuini. Concreto auto-adensável. In: Geraldo Cechellaisaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 2, p. 1769-1806.

RONCERO, J. **Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: Implications for high performance concretes.** 2000,189.p. Tese – Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

SILVA, F. G.; LIBORIO, J. B. L. Durabilidade do concreto de alto desempenho com sílica de Fe-Si ou silício metálico em ambientes marinhos. USP, São Carlos, SP. 2004.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Porto Alegre, 2004. 149p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf>. Acesso em: 09 set. 2023.

TURK, K. Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and sílica fume. **Construction and building materials**, v. 37, n. 1, 2012.

TUTIKIAN, B.F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis.** 2007. Tese de doutorado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11309> Acesso em: 26 set. 2023.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Autoadensável.** São Paulo: Ed. Pini, 2008, 148 p.