

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
JESSICA DANELUZ AVALOS

**INFLUÊNCIA DO FÍLER DE PÓ DE MÁRMORE VERSUS CINZA DA CASCA DE
ARROZ NO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL**

CASCATEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

JESSICA DANELUZ AVALOS

**INFLUÊNCIA DO FÍLER DE PÓ DE MÁRMORE VERSUS CINZA DA CASCA DE
ARROZ NO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Engenheiro Civil, Especialista
Jefferson Teixeira Olea Homrich.**

CASCADEL - PR

2017

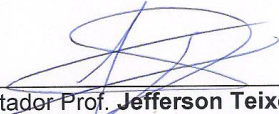
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

JESSICA DANELUZ AVALOS

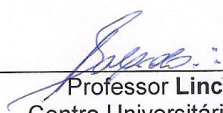
**INFLUÊNCIA DO FÍLER DO PÓ DE MÁRMORE VERSUS A CINZA DA CASCA DE
ARROZ NO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Engenheiro Civil, Especialista Jefferson Teixeira Olea Homrich**.

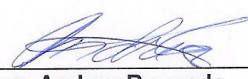
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. **Jefferson Teixeira Olea Homrich**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil, Especialista



Professor **Lincoln Salgado**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil, Especialista



Professora **Andrea Resende**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil, Mestre

Cascavel, 08 de dezembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, que foram fonte inesgotável de apoio e motivação durante essa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Chega ao fim uma das etapas mais importantes da minha vida e com ela a sensação de gratidão vem à tona. Diante deste trabalho, árduo e intenso, não há como não pensar nas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente nas várias etapas de sua evolução. Todo auxílio recebido foi essencial para a sua finalização. Portanto, de maneira singela, deixo os meus agradecimentos a todos pela ajuda recebida.

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas bênçãos derramadas e pelas inúmeras oportunidades que me concedeu dando-me força e incentivo constante, permitindo o início, desenvolvimento e conclusão dessa longa caminhada.

À minha família, aos meus amados pais, Edson Humberto Daneluz e Cesarina Avalos de Daneluz que são meu maior orgulho e exemplo de vida, e às minhas irmãs, Elaine Daneluz Avalos e Laura Daneluz Avalos, pela compreensão e força para com este trabalho.

Aos meus adoráveis tios, Arnóbio Rodrigues de Souza e Inês Daneluz de Souza, que são principais colaboradores para a realização deste sonho, sem eles nada seria possível. Aos meus avós por toda confiança, carinho e dedicação depositados em mim. E aos demais familiares que contribuíram de maneiras diferentes para eu chegar até o final dessa etapa.

Ao professor e orientador, Jefferson Teixeira Olea Homrich, pela dedicação, críticas construtivas, paciência, amizade e, principalmente, pelos conteúdos transmitidos durante a pesquisa, que foram essenciais para sua elaboração e culminação.

Ao meu amigo Marcos Antônio Frison Zacarias, e a toda equipe de profissionais do laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, em especial ao Wesley, pelo auxílio prestado nos ensaios práticos que foram imprescindíveis para a obtenção dos resultados dessa pesquisa.

Às professoras, Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres e Andrea Resende Souza, pelas dicas e conhecimentos repassados em seus tempos livres das suas aulas.

Aos grandes amigos, companheiros de sala e futuros colegas de profissão que serão sempre lembrados com muito carinho, em especial, à turma 2318. Obrigada pelos momentos incríveis que compartilhamos juntos.

Às minhas queridas amigas Patricia Emanuele De Araújo e Vanessa Federizz, com quem pude conviver durante todo o período de faculdade, na sala de aula, nos trabalhos em conjunto, nas atividades em laboratório, e em todos os momentos que partilhamos alegrias, dúvidas, preocupações, conquistas e derrotas. Irmãs que a faculdade me presenteou.

À empresa N Dalmina Construções e aos colegas de trabalho, em especial, Edilson Machado, Marcos Schernovski, Orides Oliveria e ao engenheiro Eduardo Celuppi pelos conhecimentos compartilhados e por todo auxílio e incentivo prestado como chefe, amigo e orientador de estágio.

Aos meus amigos, responsáveis por transmitir alegria, diversão e por tornarem essa jornada mais leve: Ana Paula Stumm, Daniele Sôda, Felipe Vargas, Geisa Rossi, Gisele Cavalheiro, Gustavo Poerschke, Izabela Schvan, Mariely Bloemer, Matheus Ramos, Pamela Utikoski, Raphaela Pazza, Rodrigo Gasparoto, Thais Poerschke e, em especial, à Debora C. dos Santos pelo auxílio na busca dos materiais para a pesquisa, pela colaboração no ensaios e principalmente pelas palavras de alívio e conforto, e por me fazer enxergar os pontos positivos quando as dificuldades apareceram.

À família A.A.A.E.A-FAG - Associação Acadêmica de Arquitetura, Engenharias e Agronomia da Faculdade Assis Gurgacz, que foram fonte de entretenimento e distração através do esporte.

Aos demais professores do curso, amigos e colegas da universidade e da vida.

RESUMO

Considerado como uma nova tecnologia do concreto, o concreto autoadensável (CAA) surgiu da necessidade de sanar os problemas relacionados à concretagem de peças com elevada densidade de armaduras ou com formas complexas e mão de obra pouco qualificada. Dentre várias características, apresenta três aspectos relevantes que o destaca do concreto convencional: habilidade de preencher espaços nas formas, facilidade de passar por restrições e a capacidade de resistir à segregação. Neste trabalho, propõe-se realizar um estudo experimental sobre a influência da adição de pó de mármore e da cinza da casca de arroz no concreto autoadensável, utilizando-os como adições minerais mediante o mesmo traço para ambas misturas. Os materiais utilizados foram cimento CPV-ARI, fíler de pó de mármore e cinza da casca de arroz, areia natural como agregado miúdo e pedrisco como agregado graúdo, e o aditivo superplastificante. O estudo se deu a partir da verificação de autoadensabilidade do concreto através de ensaios de espalhamento, Funil-V e Caixa-L no estado fresco. No estado endurecido, obteve-se resultados a partir de ensaios de resistência mecânica, módulo de elasticidade e absorção de água. Os resultados apresentados mostram que o CAA produzido com fíler de pó de mármore, tanto no estado fresco como endurecido, se apresentou mais satisfatório que aquele produzido com cinza da casca de arroz. O pó de mármore apresentou 30,5% maior resistência à compressão quando comparada a cinza de casca de arroz, e 5,7% maior ductilidade mediante os ensaios de módulo de elasticidade aos 49 dias. No ensaio de absorção por imersão, a CCA obteve um maior percentual de absorção, 0,4% a mais que o pó de mármore. Após a realização dos ensaios, conclui-se que o pó de mármore ocasionou um maior desempenho no concreto autoadensável quando comparado à cinza da casca de arroz.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Fíler. Cinza da casca de arroz. Pó de mármore.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teste de espalhamento Slump Flow Test.	27
Figura 2 - Funil em V de seção retangular.	27
Figura 3 - (a) Caixa - L; (b) Esquema de ensaio para caixa L, vista lateral.	28
Figura 4 - Diagrama que descreve o método de dosagem de Gomes (2002; 2003).	31
Figura 5 - Procedimento de produção de rochas ornamentais.	33
Figura 6 - Curva granulométrica do agregado miúdo.	40
Figura 7 - Curva granulométrica do agregado graúdo.	40
Figura 8 - Ensaio de resistência à compressão.	46
Figura 9 - Ensaio de módulo de elasticidade.	47
Figura 10 - Corpos de prova submersos em água para ensaio de absorção.	48
Figura 11 - Ensaio de espalhamento (a) concreto com adição de CCA; (b) concreto com adição de pó de mármore.	51
Figura 12 - Gráfico de resistência à compressão de ambas adições.	52
Figura 13 - Corpo de prova com fíler de CCA após ensaio de resistência à compressão.	54
Figura 14 - Corpo de prova com fíler de pó de mármore após ensaio de resistência à compressão.	55
Figura 15 - Resultado do módulo de elasticidade aos 28 dias.	55
Figura 16 - Absorção de água por imersão dos corpos de prova com fíler's.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de resultados para análise do CAA conforme ensaios.	28
Tabela 2 - Classificação do CAA de acordo com os ensaios apresentados anteriormente.....	29
Tabela 3 - Faixa de proporção dos materiais para CAA proposto por Gomes (2002; 2003). .	32
Tabela 4 - Resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais.....	34
Tabela 5 - Composição química da cinza da casca de arroz.....	36
Tabela 6 - Características do cimento CPV-ARI.....	39
Tabela 7 - Caracterização física dos agregados.....	41
Tabela 8 - Massa específica das adições.	41
Tabela 9 - Traço piloto elaborado pelo método de Gomes.....	42
Tabela 10 - Quantidade de material para a produção de 53L de concreto.	43
Tabela 11 - Tolerância para cada idade de ensaio.	46
Tabela 12 - Classificação do CAA de acordo com a NBR 15823 (2010).	49

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Módulo de elasticidade.....	49
Equação 2: Teor de absorção.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira de Indústria de Rochas Ornamentais;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

C3A - aluminato tricálcico;

CA – Casca de arroz;

CAA – Concreto autoadensável;

CCA – Cinza da casca de arroz;

CCV – Concreto convencional;

CP – Corpo de prova;

CPV-ARI – Cimento Portland V Alta Resistência Inicial;

g – gramas;

GPa – Giga Pascal;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

mm – milímetros;

MPa – Mega Pascal;

Ms – Massa seca;

Mu – Massa úmida

NBR – Norma Brasileira;

RCM – Resíduo de corte de mármore;

RCMG – Resíduo de corte de mármore e granito;

s – Segundos;

Ta – Teor de absorção.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	17
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	18
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	18
CAPÍTULO 2	20
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1.1 Concreto auto adensável	20
2.1.1.1 Definição	20
2.1.1.2 Histórico	20
2.1.1.3 Aplicações do CAA	21
2.1.1.4 Vantagens e desvantagens	22
2.1.1.5 Materiais constituintes	23
2.1.1.5.1 Cimento Portland	23
2.1.1.5.2 Agregados	24
2.1.1.5.3 Adições minerais	25
2.1.1.5.4 Aditivos	25
2.1.2 Propriedades do CAA no estado fresco	26
2.1.2.1 Slump Flow Test	26
2.1.2.2 Funil V	27
2.1.2.3 Caixa L	28
2.1.2.4 Requisitos para autoadensabilidade	28
2.1.3 Propriedades do CAA no estado endurecido	29
2.1.3.1 Resistência mecânica	29
2.1.3.2 Módulo de deformação	30
2.1.4 Método de dosagem	30
2.1.4.1 Método de dosagem proposto por Gomes	31

2.1.5	Rochas ornamentais e de revestimento.....	32
2.1.5.1	Considerações gerais	32
2.1.5.2	Processo de beneficiamento de rochas e geração de resíduo de corte de mármore e granito.....	33
2.1.5.3	Uso de resíduo de corte de mármore e granito	34
2.1.6	Cinza da casca de arroz - CCA	35
2.1.6.1	Considerações gerais	35
2.1.6.2	Características da cinza da casca de arroz	36
2.1.6.3	Uso da cinza da casca de arroz	37
CAPÍTULO 3		38
3.1	METODOLOGIA.....	38
3.1.1	Seleção e caracterização dos materiais	38
3.1.1.1	Cimento	38
3.1.1.2	Agregados.....	39
3.1.1.3	Adições minerais	41
3.1.1.4	Aditivo.....	42
3.1.1.5	Água	42
3.1.2	Métodos	42
3.1.2.1	Dosagem/produção do concreto autoadensável	42
3.1.2.2	Ensaio no estado fresco.....	44
3.1.2.2.1	Slump Flow Test	44
3.1.2.2.2	Funil-V	44
3.1.2.2.3	Caixa-L	44
3.1.2.3	Ensaio no estado endurecido	45
3.1.2.3.1	Moldagem e cura dos corpos de prova.....	45
3.1.2.3.2	Resistência à compressão.....	45
3.1.2.3.3	Módulo de elasticidade	47
3.1.2.3.4	Absorção de água	48
CAPÍTULO 4		49
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1.1	Concreto no estado fresco.....	49
4.1.1.1	Slump flow test.....	50
4.1.1.2	Funil - V	51
4.1.1.3	Caixa – L	51

4.1.2	Concreto no estado endurecido.....	52
4.1.2.1	Resistencia à compressão	52
4.1.2.2	Módulo de elasticidade.....	55
4.1.2.3	Absorção de água por imersão	56
CAPÍTULO 5		58
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
CAPÍTULO 6		59
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS		60

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) representa uma evolução dos concretos especiais que foi impulsionado pelo professor Hajime Okamura, na Universidade de Tóquio, em 1986 no Japão. No início dos anos 80, o país apresentava uma grande preocupação em relação à deficiência na durabilidade das estruturas em concreto que se intensificava continuamente devido à ausência de mão-de-obra qualificada para a execução de elementos estruturais. Deste modo, foi desenvolvido um material cimentício – o concreto autoadensável - capaz de proporcionar boa durabilidade e um bom adensamento (NUNES, 2001).

O CAA é um concreto capaz de se mover e preencher todos os espaços existentes na forma onde é aplicada de maneira uniforme, sem influência de qualquer energia de vibração interna ou externa. Ou seja, o concreto autoadensável flui através dos obstáculos – barras de armaduras – por ação exclusiva do seu próprio peso. Segundo Melo (2005), além da homogeneidade, para uma maior qualidade nas estruturas, o CAA também deve apresentar uma boa resistência à segregação.

A obtenção de um CAA com boas características depende da utilização de uma grande quantidade de material fino e um menor volume de agregados em sua composição, estas medidas são necessárias para conferir ao concreto boa coesão e moderada viscosidade. Além da adição mineral, existem os aditivos plastificantes que auxiliam na alta fluidez e na trabalhabilidade do concreto, reduzindo o teor da água e evitando o processo de exsudação (MELO, 2005).

Devido à grande necessidade de utilização de finos no concreto autoadensável, tem-se estimulado cada vez mais o emprego de resíduos industriais como adições minerais. Segundo Barbosa (2006), nos últimos anos houve um aumento gradativo de descarte de rejeitos sólidos bem como os problemas advindos do excesso de matérias primas naturais, com isto torna-se necessário um estudo sobre o aproveitamento de resíduos industriais como um novo produto, pois além de gerar benefícios ecológicos para o meio ambiente, também auxiliam as indústrias no descarte, proporcionando um destino alternativo e seguro para seus resíduos.

Dentre vários resíduos gerados, o pó de mármore e a cinza da casca de arroz tem recebido destaque nas últimas décadas devido à presença de carbonato de cálcio e pozolana em suas composições, uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de arroz,

alcançando uma produção de 11.759.096 toneladas na safra de 2017 (IBGE 2017). No âmbito rochas ornamentais e de revestimento, segundo a Associação Brasileira de Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS, em 2015 o país teve uma produção estimada em 9,5 milhões de toneladas de rochas ornamentais o que equivale a 7% da produção mundial.

Tanto o pó de mármore como a cinza da casca de arroz apresentam características importantes em sua composição, como carbonato de cálcio e pozolana. Essas características, além de reduzir o valor econômico e melhorar o desempenho, interfere nas propriedades mecânicas do concreto aumentando sua durabilidade e resistência à compressão e diminuindo sua permeabilidade (MENDES, 2015).

O emprego dos resíduos no concreto autoadensável não só oferece uma maneira ambientalmente correta de descarte como também propõem vantagens técnicas para melhoramento de suas características e propriedades mecânicas. Deste modo, este trabalho propõe um estudo comparativo entre o pó de mármore e a cinza da casca de arroz como adições minerais, buscando analisar o desempenho e a influência destas na composição do CAA.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência do pó de mármore e a cinza da casca de arroz nas características do concreto autoadensável.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar o desempenho do fíler de pó de mármore e a cinza da casca de arroz nas propriedades do CAA no estado fresco;
- Comparar o desempenho do fíler de pó de mármore e a cinza da casca de arroz na resistência mecânica do CAA;
- Comparar a influência da adição de fíler de pó de mármore e cinza da casca do arroz na absorção do concreto autoadensável.

1.3 JUSTIFICATIVA

No cenário atual em que a construção civil se encontra tem-se uma maior preocupação com relação ao impacto que esta produz no meio ambiente, já que é o setor que mais consome recursos naturais (responsável por 15 a 50% deste consumo). Diante disso, visa-se cada vez mais investir em alternativas de reaproveitamento de resíduos sólidos com o intuito de diminuir os problemas relacionados com a gestão, estocagem, transporte e destinação final dos resíduos (KUMAYAMA, *et al.*, 2015).

Além da emergência de se desenvolver novas tecnologias de aproveitamento de resíduos de maneira ambientalmente correta e segura, tem-se também a necessidade de se estimular a busca por novos componentes como adições minerais no concreto autoadensável. Nesse âmbito, a incorporação do resíduo de corte de rochas ornamentais no CAA acaba sendo uma solução de descarte ambientalmente correta e uma nova fonte de insumos para compor materiais de construção de menor custo (SANTOS E JUNIOR, 2012).

O pó ou resíduo de corte de mármore (RCM) é gerado através do processo de beneficiamento das rochas, ou seja, as chapas de mármore são feitas a partir da serragem de grandes blocos de pedra através de equipamentos chamados teares, na qual, cerca de 25 a 30% do bloco são transformados em pó, sendo depositados em pátios a céu aberto ou lançados em rios e córregos (APOLINÁRIO, 2014).

Segundo o panorama mundial de setor de rochas ornamentais e de revestimento da ABIROCHAS (2013), estima-se que no ano de 2020 a produção de rochas ornamentais ultrapassará a casa dos 170 milhões de toneladas, correspondentes a quase dois bilhões de metros quadrados equivalentes por ano. Com essa estimativa de crescimento do consumo de rochas ornamentais tem-se, conseqüentemente, uma elevada quantidade de resíduos a ser gerada, tornando-se importante a busca por alternativas de uso do RCM como uma fonte de matéria-prima no CAA, já que o mesmo possui todas as características compatível com as matrizes cimentícias, podendo ser empregadas como fíler em concretos autoadensáveis (Gonçalves, *et al.*, 2002).

Não obstante os resíduos de corte de mármore e suas deposições em lugares inadequados serem um problema ambiental quando se trata de descarte inapropriado de resíduos, a cinza da casca de arroz (CCA) é outro fator importante e preocupante. A cinza, gerada através da queima da casca de arroz é resultante da geração de energia pela combustão direta, a qual apresenta uma quantidade de carbono residual, tornando-a assim um grave poluente para o solo (LUDWIG, 2014).

Segundo dados do IBGE (2015), no que se refere à produção de arroz, houve um acréscimo de 11,1% com relação ao ano passado, dados que situam o país brasileiro entre os grandes produtores mundiais de arroz. Com isso, a necessidade de buscar alternativas para o uso da CCA como material novo torna-se cada vez mais significativo, pois com o aumento da produtividade de arroz a cada safra, após a colheita, na fase de beneficiamento gera-se, consecutivamente, grandes volumes de cascas.

Tanto o pó de mármore, como a cinza da casca de arroz podem apresentar grandes benefícios para as propriedades mecânicas do concreto autoadensável, pois o mesmo necessita de adições minerais em sua composição que, quando combinados com aditivos e modificadores de viscosidade, possibilitam ao CAA maior fluidez, resistência à segregação e elevada dureza (MELO, 2005).

Deste modo, devido à grande demanda de material a ser reutilizado e à necessidade de buscar novas adições minerais para o CAA, a aplicação de ambos resíduos – pó de mármore e cinza da casca de arroz – podem ser tornar uma alternativa viável no concreto autoadensável.

Neste contexto, o presente trabalho se baseará na avaliação destes finos para verificação de sua influência no concreto autoadensável.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Qual das adições apresentará maior desempenho no concreto autoadensável no estado fresco?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

As adições de misturas de carbonato de cálcio e pozolana, tais como o pó de mármore e a cinza da casca de arroz, tem a capacidade de reduzir a segregação e a exsudação do concreto autoadensável, além de influenciar em suas propriedades mecânicas contribuindo para o aumento na resistência mecânica e proporcionando uma melhor coesão e viscosidade.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada a análise do concreto autoadensável com fíler de pó de mármore e cinza de casca de arroz na composição do concreto autoadensável, realizando um estudo comparativo entre ambas adições e verificando quais possuem maior influência sobre o CAA.

O pó de mármore empregado para a seguinte pesquisa é proveniente da cidade de Cascavel, do estado de Paraná, e as cinzas da casca de arroz são oriundas de uma usina de biomassa localizada na cidade de São Borja, no Rio Grande do Sul, nas quais, foram doadas para estudo, não possuindo nenhuma informação química/física do produto.

Para a verificação do comportamento do concreto autoadensável, diante a utilização de tais adições, foram analisados apenas ensaios laboratoriais, descartando-se assim qualquer estudo referente a custos. Os testes foram realizados na instituição de ensino Centro Universitário Assis Gurgacz, localizado na cidade de Cascavel-PR.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo destacará informações referentes ao concreto autoadensável (CAA) e os suas principais características encontradas na literatura. De início será apresentado sua definição, juntamente com seu histórico e suas aplicações.

2.1.1 Concreto auto adensável

2.1.1.1 Definição

Entende-se por concreto autoadensável (CAA), o concreto obtido da mistura homogênea dos componentes e que apresente alta fluidez e coesão, ou seja, se auto adensar sem segregar e sem exsudar (RAZERA, 2012).

Para Tutikian (2008) e Gomes e Barros (2009), o concreto para ser considerado autoadensável deve possuir três propriedades simultaneamente: fluidez, habilidade passante e resistência a segregação. A fluidez permite que o concreto possa escoar dentro da forma e preencher todos os vazios, sem o auxílio de vibrações, apenas sob a ação da gravidade e é alcançada com a utilização de aditivos superplastificantes. Habilidade passante é a capacidade que o CAA tem de passar pelos obstáculos, como excesso de armaduras, sem que haja oclusão de seu fluxo. A capacidade que a mistura tem de manter sua viscosidade e coesão – as quais são alcançadas através de uma porcentagem de adição mineral com granulometria muito fina e aditivos modificadores de viscosidade –, durante o preenchimento das formas é propriedade da resistência à segregação.

O CAA é uma nova tendência no mercado pois, além de proporcionar uma maior produtividade, contribui com o meio ambiente por utilizar resíduos industriais como adições minerais em sua composição (DAROS, 2009).

2.1.1.2 Histórico

O concreto autoadensável (CAA) foi alvitado, na década de 1980 no Japão, pelo professor Hajime Okamura, da Universidade de Tóquio. Nesta época, o país apresentava problemas com relação a durabilidade das estruturas e falta de mão de obra especializada na

indústria da construção japonesa. O país era responsável por executar obras complexas que, devido aos abalos sísmicos na região, eram compostas por um grande número de armaduras em sua estrutura e com isso, a necessidade de uma boa vibração e um bom adensamento do concreto eram quase impossíveis, já que o excesso de barras de aço obstruíam a passagem do concreto para preenchimento de todos os espaços vazios dentro das formas. Deste modo, surge uma grande preocupação com a escassez de durabilidade e qualidade no âmbito da construção civil (NUNES, 2001).

A partir de 1983, Okamura iniciou os seus estudos em busca de um concreto especial que pudesse sanar os problemas com relação ao adensamento, descartando a necessidade do uso de qualquer tipo de vibração mecânica, ou seja, um concreto que pudesse se autoadensar sem a necessidade de vibrações, somente com seu próprio peso. Surge assim, em 1986, o concreto denominado autoadensável, cujo primeiro protótipo teve origem em 1988 por Ozawa (DAROS, 2009).

Em meados da década de 1990 – após várias pesquisas, publicações e algumas aplicações *in loco* no Japão – surge na Europa, mais precisamente na Suécia e na Holanda, o concreto autoadensável que, em pouco tempo, já estava sendo aceito no mercado europeu e internacional (GOMES E BARROS, 2009).

No ramo atual da construção civil, diante de tamanha demanda por construções no Brasil, a utilização do concreto autoadensável vem aumentando nos últimos anos, ainda de forma restrita, apesar de esta ser considerada a tecnologia dos concretos (DAROS, 2009).

Segundo Nunes (2001), apesar de vários estudos, seminários, congressos e aplicações desenvolvidas acerca desta tecnologia, o uso de CAA na execução de obras da engenharia se encontra em sua fase larva, ou seja, há muito ainda o que desenvolver a respeito deste novo tipo de concreto, e a rapidez com que o material vai ser empregado dependerá muito das indústrias, assim como do esforço de engenheiros especializados em usar esta tecnologia nas construções a seu favor.

2.1.1.3 Aplicações do CAA

A partir do final dos anos 90, após inúmeras pesquisas e estudos desenvolvidos em diversos países, o interesse pela utilização de concreto autoadensável em elementos estruturais, assim como sua aplicação aumentaram e, embora existam algumas aplicações em obras de concreto armado, esta prática ainda é um pouco restrita, sendo assim mais utilizada em elementos pré-fabricados (CAVALCANTI, 2006).

No Japão, em Junho de 1990, a primeira aplicação do CAA ocorreu na execução de um edifício. No ano de 1998, houve o uso do concreto autoadensável na construção da ponte Akashi-kaikyo (Straits), uma ponte suspensa com um vão de 1.991m que utilizou 290.000 m³ aproximadamente. O emprego de CAA se fez necessário devido à necessidade de construir mais em menos tempo com uma redução de mão de obra e a concretagem em zonas com elevada densidade de armaduras. A obra estava prevista para um tempo de construção de dois anos e meio, no entanto, com o uso do concreto autoadensável, houve uma economia de tempo de 20%, ou seja, foram necessário apenas dois anos para construir a ponte. Diante disso, em todo o mundo, o CAA passou a ser utilizado em diversos segmentos como pontes, edifícios, tanques, túneis e elementos de concreto em geral (NUNES, 2001).

A aplicação de concreto autoadensável em pontes gerou resultados positivos resultando assim no interesse em empregar este material em outras áreas. Na Suécia, em 1998, para a execução de um edifício comercial, utilizou-se pré-moldado e CAA, com ou sem fibras de aço, com um volume total de 3000m³. Em 1999, um túnel enclausurado *Oresund*, com 40m de comprimento e seções de 1x1m, utilizou concreto autoadensável devido à impossibilidade de vibrações no local (TUTIKIAN, 2008). Diante destas aplicações, vários países europeus como a Holanda, Reino Unido, França, etc., intensificaram seus estudos e aplicações sobre o CAA em estruturas (NUNES, 2001).

No Brasil, segundo Tutikian (2008), há relatos de utilização de concreto autoadensável na obra de ampliação do Shopping Center Flamboyant, de Goiânia - GO; em São Paulo – SP, para a construção de um metrô, foram utilizados 8.000 m³ de CAA em uma laje que apresentava alta densidade de armadura. Já em Porto Alegre – RS, o emprego de concreto autoadensável se fez necessário para o reforço estrutural de um edifício.

2.1.1.4 Vantagens e desvantagens

O concreto autoadensável, considerado a tecnologia dos concretos, tem se tornado cada vez mais interessante no ramo da construção civil, e sua busca se dá pelos diversos benefícios tecnológicos, econômicos e ambientais que este material proporciona, os quais já foram comprovados através de estudos, pesquisas e aplicações práticas (CAVALCANTI, 2006).

Uma das vantagens que o CAA proporciona é uma maior durabilidade das estruturas, e isso ocorre devido à boa compactação, mesmo em áreas com excesso de armaduras, que o mesmo sofre no estado fresco, com isso evita-se o aparecimento de patologias relacionadas ao

mau preenchimento das formas e apresentam-se peças estruturais com excelentes acabamentos (KLEIN, 2008).

Outra vantagem do uso do concreto autoadensável é a elevada fluidez e a eliminação de vibração mecânica que, conseqüentemente acarreta a redução de mão de obra, já que esta etapa é responsabilidade unicamente do CAA através do seu peso próprio de fluir e se autoadensar nas formas. Com o descarte da vibração gera-se um ambiente mais confortável para trabalhar, uma vez que os trabalhadores e demais pessoas próximas à obra deixam de estar expostos a ruídos que, muitas vezes, acabam sendo prejudiciais para saúde (TUTIKIAN, 2008).

Segundo Klein (2008), para a elaboração de CAA, um dos materiais necessários em sua composição é a adição de materiais finos, podendo apresentar desvantagem com relação ao seu uso nas obras. No concreto autoadensável, devido à diminuição na utilização de agregado graúdo, requer-se uma maior quantidade de finos em sua composição, sendo estes cimento ou adições minerais. Os finos tem por finalidade aumentar a coesão e evitar a segregação do material e, com isso, deve-se tomar cuidado durante a pega do concreto autoadensável para se evitar o aparecimento de fissuras por retração do concreto.

Devido à necessidade de se empregar aditivos químicos em sua composição e uma maior quantidade de cimento, estes acarretam o elevado custo do concreto por metro cúbico, tornando-o um material limitado e desvantajoso para aplicação (KLEIN, 2008).

2.1.1.5 Materiais constituintes

Para a elaboração do CAA, na prática, são empregados os mesmos materiais que compõem o concreto convencional (CCV), diferindo apenas na quantidade de finos e de aditivos químicos (TUTIKIAN, 2008).

2.1.1.5.1 Cimento Portland

Não há parâmetros científicos que estabeleçam ou especifiquem qual cimento é o mais adequado para a preparação do concreto autoadensável, pode-se utilizar qualquer tipo cimento, até os mesmos utilizados para a confecção de concretos convencionais (TUTIKIAN, 2008).

Segundo Klein (2008), uma das características que o CAA deve apresentar é uma boa viscosidade e para se ter esse aspecto deve-se haver em sua composição uma elevada quantidade de finos, sendo que grande parte destes finos são provenientes do cimento. Para evitar efeitos negativos, como aumento da liberação de calor de hidratação e aumento da retração plástica

causada pelo excesso de consumo de cimento, como solução para minimizar tais efeitos, pode-se empregar cimentos que possuem em sua composição algum tipo de adição ou até mesmo utilizar adições minerais.

Outros fatores importantes, segundo Tutikian (2008) para se considerar em relação ao cimento são: sua granulometria e os fatores de controle – que são estabelecidos através do aluminato tricálcico (C3A) –, aspectos estes importantes no que se refere à água e trabalhabilidade para o CAA. A boa reologia de um cimento é atribuída pelo bom controle do C3A, ou seja, quanto menor for a quantidade de aluminato tricálcico no cimento – não ultrapassando os 10% de teor, como aborda a teoria –, menor será a perda da fluidez do concreto autoadensável, facilitando assim o seu controle reológico. Outro fator a ser levado em conta ainda a respeito do cimento é a sua superfície específica, sendo relevante para a coesão do CAA, ou seja, quanto se tem uma maior superfície específica, conseqüentemente, tem-se um maior número de partículas em contato com a água ocasionando assim, um aumento na frequência de colisão destas através da redução de sua distância. Essa característica faz com que a tensão de escoamento diminua e a viscosidade da mistura aumente.

2.1.1.5.2 Agregados

Os agregados, tanto o gráúdo como o miúdo, empregados para a confecção do CAA são os mesmos utilizados na composição do concreto convencional (HASSE, 2014).

Para a confecção do concreto autoadensável, Tutikian (2008), sugere a utilização de agregados que apresentem partículas arredondadas e lisas, características estas importantes pois, além de apresentarem menor área específica volumétrica, reduzem a quantidade de vazios em virtude do seu bom adensamento, assim ocasionando uma boa fluidez para a mistura.

No que se refere à dimensão, é recomendável o uso de agregados que tenham a dimensão máxima característica inferior a 2/3 dos espaçamento e a 3/4 do cobrimento mínimo das barras, garantindo assim o fluxo da mistura através das aberturas das armaduras. Usualmente, emprega-se agregados que possuem tamanhos compreendidos entre 12,5 e 19 mm (TUTIKIAN, 2008).

Ademais, Melo (2005), estabelece que para o concreto adquirir uma boa trabalhabilidade é relevante que a granulometria dos agregados seja contínua, caso contrário, geram-se problemas relacionados ao consumo de cimento, existência de vazios e redução de fluidez. Tanto o agregado gráúdo como o miúdo devem apresentar uma granulometria adequada para que o CAA apresente um bom comportamento.

2.1.1.5.3 Adições minerais

As adições minerais são materiais finos, moídos, provenientes de minerais, utilizados em grandes quantidades, inertes ou reativas e desempenham papel importante no concreto autoadensável. Tem por finalidade contribuir no aumento da coesão, da viscosidade e na redução da segregação de agregados que compõem a mistura do CAA (MELO, 2005).

Dentre as várias vantagens que o uso de adições minerais ocasionam, Klein (2008) destaca dois grandes benefícios: econômico e ambiental. Econômico devido à redução de consumo de cimento já que as adições substituem parte deste na execução do concreto. E ambiental devido à utilização de subprodutos industriais na mistura como adições, auxiliando na sustentabilidade pois vários resíduos são descartados no meio ambiente causando poluição.

O uso de adições é fundamental, visto que estas possibilitam melhorias nas propriedades do CAA tanto no estado fresco, aumento de fluidez sem aumentar o consumo de água e boa resistência à segregação, como no estado endurecido, boa resistência e durabilidade (KLEIN, 2008). Para Melo (2005), a granulometria, área específica, reatividade e forma da partícula são aspectos relevantes para a eficiência das adições.

2.1.1.5.4 Aditivos

O uso de aditivos no concreto autoadensável é de extrema importância, ou seja, estes são indispensáveis na sua composição. São responsáveis por conferir ao concreto elevada fluidez devido à capacidade de redução do consumo de água e apresentar uma pasta que proporcione uma maior trabalhabilidade (MELO, 2005).

Segundo Klein (2008), vários são os tipos de aditivos existentes no mercado, e cada um exerce uma função específica no concreto, porém, para a confecção do CAA os aditivos mais utilizados são os superplastificantes por proporcionarem maior fluidez e viscosidade ao concreto.

Klein (2008) ainda descreve que os aditivos superplastificantes possuem a capacidade de reduzir maiores quantidades de água (até 30%), quando comparadas com os aditivos plastificantes (reduzem de 10% a 15%), sem modificar a característica da pasta no estado fresco.

Separaram-se em três gerações os aditivos redutores de água: na 1ª geração tem-se os lignossulfonatos, naftaleno sulfonado e melanina sulfonada, não indicados para o CAA; já na 2ª geração, denominados superplastificantes, tem-se os polímeros sintéticos e sulfonatos. E por último, a 3ª geração tendo os policarboxilatos, também chamados de poliacrilatos, que são os

mais empregados nos concretos autoadensáveis graças à capacidade de proporcionar maiores redução de água e resistência inicial (DAROS 2009).

2.1.2 Propriedades do CAA no estado fresco

Sabe-se que o concreto autoadensável possui algumas peculiaridades que o difere do concreto convencional, e uma dessas características que este deve apresentar em seu estado fresco, é a capacidade de ser fluido e viscoso, simultaneamente. Para verificação dessas propriedades do concreto, como sua trabalhabilidade, existem ensaios que podem ser realizados como: ensaio de espalhamento do cone de Abrams (“Slump Flow Test”), Funil V (“V-Funnel”) e Caixa L (“L-Box”) (TUTIKIAN, 2008).

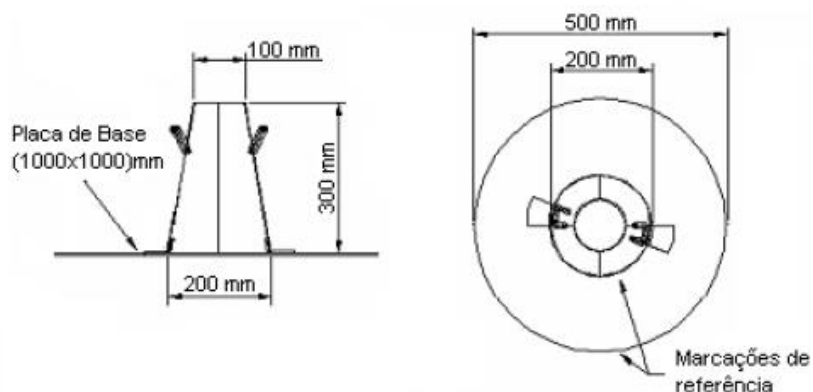
2.1.2.1 Slump Flow Test.

O *Slump Flow Test* é um dos ensaios mais utilizados para concretos autoadensáveis, pois consiste na avaliação da capacidade da mistura fluir sem segregar. O ensaio tem como função medir o espalhamento do concreto sob determinada força (seu próprio peso), dentro de um determinado diâmetro e de um determinado tempo (MELO, 2005).

Para a realização do ensaio é necessário apenas uma pessoa e utiliza-se poucos materiais. O *Slump Flow Test* é composto por uma base quadrada com medidas de 100 x 100cm, o material do qual é feita a base não pode absorver água e nem criar atrito com a mistura – e por um tronco de cone que, além de possuir as mesmas características do material da base, deve possuir uma altura de 300mm, diâmetro interno menor de 100mm e diâmetro maior de 200mm, conforme a Figura 01. É feito uma círculo de diâmetro de 200mm sobre a base para a colocação do cone. Além destes materiais, há a necessidade de utilização de uma espátula, concha côncava e uma trena para medição do espalhamento da mistura. (GOMES E BARROS, 2009).

Após realização do ensaio, Gomes e Barros (2009) ainda estabelece que, o espalhamento final do concreto deve estar entre os 600 e 800 mm de diâmetro, e o tempo de fluxo T50 (tempo que o concreto leva para atingir a marca do diâmetro de 500mm) deve estar entre 2 e 7 segundos.

Figura 1 - Teste de espalhamento *Slump Flow Test*.



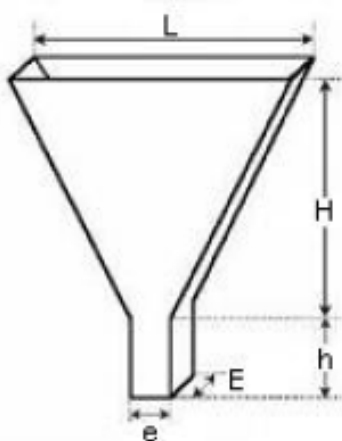
Fonte: Klein (2008).

2.1.2.2 Funil V

O ensaio do Funil-V, que será realizado no estado fresco do concreto, serve para avaliar a capacidade do concreto de preencher um funil, com seções retangulares como ilustra a Figura 02, através do estreitamento de uma seção, sem o auxílio de vibrações externas, apenas sob a ação do seu próprio peso. Além disso, o ensaio auxilia na verificação da segregação quando o concreto não consegue escorrer pela saída do funil (TUTIKIAN, 2008).

O teste se baseia na medição do tempo que um certo volume de concreto leva para fluir totalmente através do orifício inferior do funil, sendo vistas neste as características de habilidade de preenchimento e passagem por obstáculos. O tempo para que ocorra todo o procedimento deve ser entre 5 a 10 segundos (HASSE, 2014).

Figura 2 - Funil em V de seção retangular.



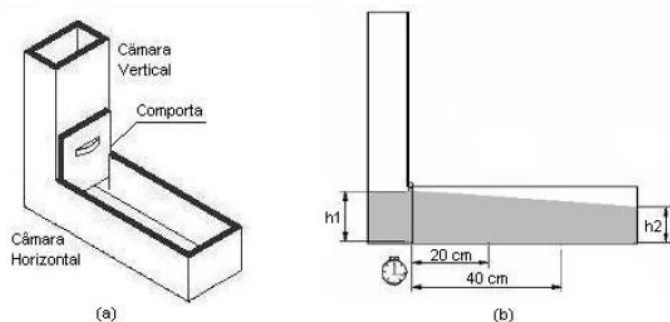
Fonte: Klein (2008).

2.1.2.3 Caixa L

O ensaio da caixa-L, que também será realizado no estado fresco do CAA, busca avaliar a habilidade do concreto de passar sobre obstáculos, como armaduras, sem que ocorra bloqueio e apenas sob a força do seu próprio peso. A análise é feita através do preenchimento da parte vertical (H1) de uma caixa em formato de L, que flui para a parte horizontal (H2) após passar pelas barras impostas como obstáculos, como mostra a Figura 03 (MELO, 2005).

Para o ensaio verifica-se a distância que percorre o concreto juntamente com tempo que este leva. O primeiro tempo é analisado quando o concreto alcança a marca de 20 cm de percurso no trecho horizontal, e o outro quando alcança os 40 cm também no mesmo trecho. Quando o concreto finaliza o percurso, ou seja, cessa o movimento, é observada a altura do concreto no final do trecho H1 e H2. Obtém-se o resultado a partir da relação entre as duas alturas da caixa (H1 e H2) e tem que ser maior que 0,8 para CAA (GOMES E BARROS, 2009).

Figura 3 - (a) Caixa - L; (b) Esquema de ensaio para caixa L, vista lateral.



Fonte: Klein (2008).

2.1.2.4 Requisitos para autoadensabilidade

Para que o concreto seja considerado autoadensável, de acordo com os ensaios descritos acima, a Tabela 01 apresenta alguns valores como base na literatura de alguns autores.

Tabela 1 - Faixas de resultados para análise do CAA conforme ensaios.

Ensaio	Nunes (2001)	Coppola (2001)	EFNARC (2002)	Gomes (2002)
Slump Flow (mm)	600 – 700	600	650 – 800	600 – 700
Funil-V (s)	10	2 – 12	6 – 12	10 – 15
Caixa-L (H2/H1)	0,8	0,8	0,8 – 1,0	0,8

Fonte: Melo (2005).

A NBR 15823-1 (2010), através da tabela 02, também apresenta uma classificação do concreto autoadensável de acordo com os ensaios supracitados anteriormente.

Tabela 2 - Classificação do CAA de acordo com os ensaios apresentados anteriormente.

CLASSIFICAÇÃO		RESULTADO DO ENSAIO			
		Slump flow (mm)	T ₅₀₀ (s)	Tempo de fluxo de Funil-V (s)	Relação H2/H1
Slump flow	SF1	550 a 650			
	SF2	660 a 750			
	SF3	760 a 850			
Viscosidade	VS1/F1		≤ 2	≤ 8	
	VS2/F2		> 2	9 a 25	
Habilidade passante	PA1				≥ 0,8 com 2 barras
	PA2				≥ 0,8 com 3 barras
	PJ1				
	PJ2				

Fonte: NBR 15823-1 (2010).

2.1.3 Propriedades do CAA no estado endurecido

Quando se trata das propriedades do concreto no estado endurecido, tanto o autoadensável como o convencional, apresentam praticamente as mesmas características, diferindo apenas na sua forma de concepção e dosagem (KLEIN, 2008).

2.1.3.1 Resistência mecânica

A resistência mecânica se dá através do ensaio de compressão uniaxial quando o concreto atinge a idade dos 28 dias, e é uma das características mais importantes do CAA no estado endurecido (MELO, 2005).

Sabe-se que o fator água/cimento é uma das principais preocupações quando se trata de concreto, visto que este é responsável pela porosidade e tem influência direta na resistência, ou seja, quanto maior porosidade, menor será sua resistência a compressão. No entanto, para a confecção do CAA, há a necessidade de empregar alguns componentes diferentes dos que são utilizados no CCV, como agregados específicos, aditivos, adições minerais, etc.; estes fatores, quando combinados, proporcionam à mistura uma maior homogeneidade, redução de

porosidade, maior resistência à compressão e maior durabilidade quando comparado ao concreto convencional na mesma relação água/cimento (KLEIN, 2008).

2.1.3.2 Módulo de deformação

Para análise do módulo de deformação do concreto, averigua-se a relação de tensão *versus* deformação instantânea que este sofre no estado endurecido, levando em conta todos os materiais empregados para sua confecção e dosagem (MENDES, 2015).

Sabe-se que para a elaboração do CAA utiliza-se, em sua composição, uma menor quantidade de agregados e, conseqüentemente, há um maior volume de pasta. Estes fatores, juntamente com a adição de finos e aditivos, fornecem ao concreto autoadensável um menor módulo de elasticidade quando comparados ao concreto convencional (KLEIN, 2008).

Porém, apesar do CAA apresentar uma maior resistência à compressão e um menor módulo de elasticidade, tem-se algumas especificações – como retração plástica e fissuras – a serem observadas devido ao uso de uma maior quantidade de finos em sua composição (MELO, 2005).

2.1.4 Método de dosagem

A dosagem tem como função proporcionar ao concreto características como: consistência, resistência e durabilidade através da determinação econômica dos componentes e suas quantidades (MELO, 2005).

Atualmente, na literatura, encontra-se várias metodologias de dosagem para o concreto autoadensável, e a primeira e mais conhecida dentre elas é a teoria desenvolvida pelo professor Okamura da Universidade de Tóquio, no Japão. Após isso, com a expansão nos estudos sobre o desenvolvimento desse tipo de concreto, vários outros métodos foram criados, os quais hoje são utilizados por diversos autores (HASSE, 2014).

A seguir será descrito o método de dosagem de Gomes *et al.* (2002;2003), com base em seu livro *Métodos e Dosagem de Concreto Autoadensável* – Gomes e Barros (2009), na qual a seguinte pesquisa se baseará. Este apresenta um estudo para obtenção da dosagem de CAA através de duas partes: definição da composição da pasta e definição do esqueleto granular, conforme ilustra a Figura 04.

Figura 4 - Diagrama que descreve o método de dosagem de Gomes (2002; 2003).



Fonte: Melo (2005).

2.1.4.1 Método de dosagem proposto por Gomes

Em sua metodologia, Gomes descreve que o CAA pode ser obtido, de forma separada, através da otimização da composição da pasta e o esqueleto granular para que, no final, possa-se executar a mistura de ambos através da definição de um volume ideal para a mistura e assim apresentar as características de um concreto autoadensável.

O que difere este método de Gomes dos demais métodos de dosagem de outros autores é a vantagem de separar os procedimentos, composição da pasta e proporção dos agregados, para sua elaboração. Ou seja, um independe do outro para ser executado. No entanto, para definição do concreto, o método separa-se em três fases: a primeira fase está a composição da pasta, a segunda é a definição do esqueleto granular, e a terceira é o ajuste do volume da pasta.

Na primeira fase, Gomes trabalha com a dosagem dos materiais para a confecção da pasta, estabelecendo a quantidade de cimento e demais componentes a serem utilizados. A determinação da água, das adições minerais e dos superplastificantes se dá em função da massa do cimento. Além disso, o teor de aditivo e filler se dá através de ensaios de Cone de Marsh e

minislump. O volume inicial da pasta a ser utilizado se baseia na quantidade necessária para a execução do ensaio.

Na segunda fase tem-se a definição do esqueleto granular através da relação agregado miúdo/agregado graúdo. Nesta etapa, Gomes trabalha com essa relação de agregados para a obtenção de uma pasta viscosa e fluida diante da redução de vazios e, conseqüentemente, a redução de porosidade e retração, proporcionando ao CAA suas principais características.

E na terceira e última fase, uma vez determinada a composição da pasta e a relação de agregados, tem-se a determinação do volume mínimo de pasta para que o concreto atinja sua característica de autocompatibilidade. Essas características podem ser analisadas através de ensaios de espalhamento e preenchimento, ensaio de passagem por obstáculos e a resistência à segregação. A Tabela 03 apresenta o traço que Gomes utiliza com base nas faixas de proporção dos materiais.

Tabela 3 - Faixa de proporção dos materiais para CAA proposto por Gomes (2002; 2003).

	Cimento	água/finos	finos	água	agregado graúdo	agregado miúdo
Gomes (2002; 2003)	200 – 400 (kg)	0,25 – 0,40 (em massa)	200 – 250 (kg/m ³)	150-180 (kg/m ³)	30 – 35% do volume de concreto ou 750 – 920 (kg/m ³)	40 – 50% do volume de argamassa ou 710 – 900 (kg/m ³)

Fonte: Melo, 2005.

2.1.5 Rochas ornamentais e de revestimento

2.1.5.1 Considerações gerais

Também denominadas como pedras naturais, as rochas ornamentais e de revestimento englobam os materiais geológicos da natureza passível de modelamento ou beneficiamento por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, etc., que apresentam requisitos básicos de beleza estética (ABIROCHAS, 2013).

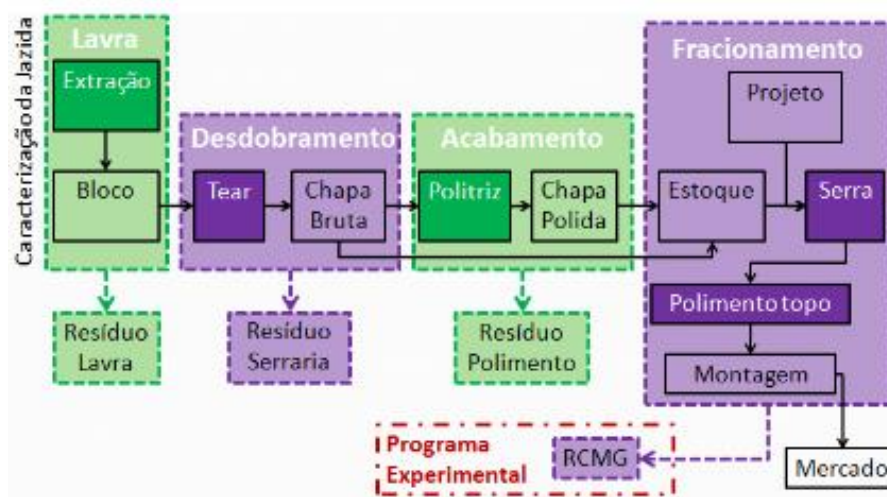
Para Almeida (2014), as rochas ornamentais são materiais rochosos advindos da extração em formas de blocos e são serradas em placas, e são utilizados como materiais decorativos em trabalhos artísticos e como materiais para aplicação na construção civil. Dentro de suas principais aplicações está: balcões, lápides, esculturas, tampos e pés de mesa e arte funerária em geral. Já no âmbito da construção civil, destacam-se como revestimentos internos e externos, como divisórias de banheiro, pisos, soleiras, entre outros.

Dentro do panorama comercial, as rochas ornamentais são divididas em duas grandes categorias: granitos e mármore. Os granitos referem-se as rochas não-carbonáticas, de composição silicatada, já os mármore enquadram-se as rochas carbonáticas. Os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias também são importantes setorialmente (MENEZES e LARIZZATTI, 2005).

2.1.5.2 Processo de beneficiamento de rochas e geração de resíduo de corte de mármore e granito.

O procedimento de produção de chapas de pedras ornamentais e de revestimento baseia-se, praticamente, em três processos diferentes conforme ilustra a Figura 05.

Figura 5 - Procedimento de produção de rochas ornamentais.



Fonte: Santos e Júnior (2012).

A primeira etapa do produção das rochas consiste na elaboração de uma pesquisa de solo para avaliar o potencial e a qualidade das rochas. Através da pesquisa é determinado a melhor metodologia a ser usada, metodologia esta que irá proporcionar maior produtividade sem causar sobre a jazida, inicia-se o processo de lavra que consiste na extração dos blocos (SOUSA, 2007).

Posteriormente, na segunda etapa, os materiais extraídos são encaminhados as serrarias onde ocorre o processo de beneficiamento dos blocos, ou seja, é realizado o tratamento final das rochas adequando as chapas conformes padrões de tamanho e acabamento superficial. A serragem dos blocos é realizada através de equipamentos denominados *teares*, equipamentos estes que geram um grande volume de rejeitos sob a forma de lama (Santos e Júnior, 2012).

Nas seguintes etapas tem-se o acabamento final das placas através de polimento e corte das chapas. Para Sousa (2007), esta etapa tem por finalidade conferir as características finais e padrões específicos para as chapas, cuidando do brilho de maneira que realce a coloração dos diferentes minerais que compõem a peça. Esse cuidado se dá mediante a supressão da rugosidade de sua superfície e pela oclusão dos poros que constituem o material. Na fase de polimento das peças tem-se os resíduos que são gerados na etapa do processamento das chapas, na qual, água, pó de rocha e restos de abrasivos integram na composição desses resíduos. Mediante o excesso de água contido nos resíduos, é feito seu reaproveitamento através do sistema de decantação que, após a separação, os resíduos de processamento de rochas são descartadas locais destinados a sua deposição, mais conhecidos como lagoas. Quando especificadas conforme projeto, as rochas ornamentais recebem a modelagem, o corte e o polimento das marmorarias, resultando assim na geração de grandes quantidades de resíduos de corte de mármore. A tabela 04 apresenta a estimativa de resíduos gerados através do processo de serragem dos blocos.

Tabela 4 - Resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais.

Referências encontradas em (Destefani, 2009) e (Souza, 2007)	Estimativa de resíduos gerados (% em volume em relação ao bloco)
(Freire e Mota, 1995) e (Sousa, 2001)	20% a 25%
(Golçalves, 2000) e (Cavalcanti, 2006)	25% a 30%
(Silva, 1998) e (Vieira, 2004)	30%
(Gobboet et al., 2004) e (Mello et al, 2006)	30% a 40%
(Almeida e Pontes, 2001)	40% a 50%
(Villaschi e Sabadini, 2000)	25% a 30%

Fonte: Almeida (2014).

2.1.5.3 Uso de resíduo de corte de mármore e granito

Devido ao ascendente crescimento com a preocupação do meio ambiente em todo o mundo, cresce também a busca de novas medidas a serem tomadas com intuito de minimizar os impactos ambientais ocasionados pela indústria de beneficiamento de rochas ornamentais (SANTOS E JÚNIOR, 2012).

O RCMG possui características favoráveis para o seu uso industrial como: granulometria fina, composição química pré-definida e a inexistência de outros materiais em

sua estrutura. Mediante isso, o uso de resíduos de corte de mármore e granito, dentro da construção civil, propende a auxiliar na redução do impacto ambiental ocasionado pelo excesso de consumo de agregados minerais (SANTOS, 2008).

O mesmo autor ainda afirma que, pesquisas elaboradas com o uso de resíduos de corte de mármore e granito na produção de argamassa para revestimento demonstram que o resíduo apresenta-se na forma cristalina e não aponta riscos ambientais. Quando aos ensaios de resistência mecânica, as argamassas com RCMG apresentaram maiores desempenhos quando comparadas às argamassas sem adições.

2.1.6 Cinza da casca de arroz - CCA

2.1.6.1 Considerações gerais

Segundo dados do IBGE (2015), Brasil é um dos maiores produtores mundiais de arroz, alcançando uma produção de 11.759.096 toneladas na safra de 2017, ou seja, um acréscimo de 11,1% com relação ao ano passado, dados que situam o país brasileiro entre os grandes produtores mundiais de arroz.

Na fase de beneficiamento da indústria do arroz tem-se, em grande volume, a geração de subprodutos que são as cascas. A casca de arroz (CA) é formada durante o desenvolvimento do grão e funciona como um revestimento ou capa protetora e possui em sua composição celulose (50%), lignina (30%) e resíduos inorgânicos (20%). Dentro dos resíduos inorgânicos existe a presença de sílica, que corresponde a 95% do seu peso. No entanto, além de apresentar comercialmente um valor muito baixo, o CA também não apresenta nenhum valor nutritivo, não servindo para alimentação humana e animal, resultando assim em grandes preocupações pelo excesso de volume que o mesmo gera (LUDWIG, 2014).

Para Mendes (2015), uma maneira de evitar que esses grandes volumes de CA gerados fossem descartados de maneira inapropriada e com intuito de proporcionar uma destinação sustentavelmente correta, é o uso de CA para geração de energia em termoeletricas. A lenha utilizada para a queima é substituído pela casca de arroz, esta apresenta alto poder calorífico, tornando-se uma fonte renovável de geração de energia.

O procedimento de geração de energia através da combustão da casca de arroz resulta na geração de um material leve, volumoso e altamente poroso denominado cinza. A cinza de casca de arroz pode apresentar diferentes formas estruturais (amorfa e/ou cristalina)

dependendo do equipamento usado para queima, tempo e temperatura. Além do mais, as cinzas correspondem a 20% do peso do grão de arroz e apresentando-se como uma importante fonte renovável de sílica. (LUDWIG, 2014).

2.1.6.2 Características da cinza da casca de arroz

Para Pouey (2006), antes de caracterizar a cinza da casca de arroz deve-se levar em conta a localização que o arroz advém já que esta varia conforme sua origem. Pois, embora recebam o mesmo processo e controle de combustão, o produto final pode apresentar diferentes características. No entanto, quando se trata de composição química, independente o método de queima, as cinzas sempre apresentam elevadas quantidades de sílica. Na tabela 05 que apresenta a composição química da cinza da casca de arroz segundo vários autores.

Tabela 5 - Composição química da cinza da casca de arroz.

Autores	Composição típica em óxidos (% em peso)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF
Cook (1977)	93,0	0,60	0,15	ND	0,42	0,43	0,04	1,05	ND	ND	2,77
Sallas (1986)	91,26	0,94	0,37	ND	0,88	2,15	ND	ND	ND	ND	ND
Cincotto (1988)	94,70	0,09	1,46	ND	0,95	0,99	0,04	1,75	ND	ND	7,29
Guedert (1989)	93,11	0,92	0,40	ND	0,85	0,52	0,12	1,12	ND	ND	ND
Farias (1990)	91,78	0,60	0,34	ND	0,52	0,50	0,11	1,30	ND	ND	ND
Sugita (1992)	90,0	0,1	0,40	ND	0,3	0,40	0,06	2,41	ND	ND	4,2
Isaia (1995)	78,6	2,3	2,3	ND	0,80	1,0	0,01	0,56	ND	ND	11,8
Fonseca (1999)	83,86	0,17	0,17	0,66	ND	1,03	ND	3,65	ND	1,34	8,54
Della (2001)	72,1	0,3	0,15	0,15	0,7	0,43	0,5	0,72	0,05	0,6	24,3
Qingge (2005)	92,4	0,3	0,40	0,11	0,30	0,70	0,07	2,54	ND	0,11	2,31

Fonte: Pouey (2006).

Através da tabela 05 pode-se perceber que a sílica é o material que possui maior porcentagem, variando de 72,1 a 94,7%, na composição da cinza da casca de arroz. Quando se trata da análise da composição mineralógica da cinza, fatores como temperatura e tempo de queima são determinantes, embora influenciem pouco na composição química (MENDES, 2015). O mesmo autor ainda descreve que a sílica pode se apresentar tanto no estado amorfo (mais reativa) como no estado cristalina, e estas características são resultantes da temperatura

utilizada para queima. A queima que ocorre com altas temperaturas e sem nenhum controle resultam na cinza cristalina, já a cinza de casca arroz amorfa advém do processo de queima controlado.

Outra característica relevante das CCA está na sua coloração, este pode variar da cor cinza ao preto. Os dois grandes fatores responsáveis por caracterizar a cor da cinza são as impurezas inorgânicas que tem em sua composição e a queima. Cinzas com tons mais escuros são as que se encontram no estado amorfo e foram obtidas a partir da queima da casca a temperaturas que variam de 300°C a 900°C, e por tempo que varia de 1 a 30h. Já as cinzas brancas, brancas-rosadas são as que se encontram na forma cristalina e foram queimadas por 12 horas a partir de uma temperatura de 400°C (SILVA, 2014).

2.1.6.3 Uso da cinza da casca de arroz

Visando na necessidade de minimizar impactos negativos sobre o meio ambiente mediante no investimento em alternativas de reaproveitamento de resíduos sólidos, com o intuito de diminuir os problemas relacionados com a gestão, estocagem, transporte e destinação final dos resíduos, surge a hipótese de empregar-se as cinzas da casca de arroz na composição de produtos cerâmicos e até mesmo no concreto, visto que este possui em sua composição 92% de sílica que tem como característica principal dureza elevada (BARBOSA, 2006).

A sílica, presente na cinza da casca de arroz, pode apresentar alguns efeitos nas propriedades do concreto no estado fresco como: maior coesão, redução de retração plástica, aumento da fluidez do concreto, redução de permeabilidade, etc. (MELO, 2005).

Segundo estudos realizados por Mendes (2015), os CAA's produzidos com CCA apresentaram níveis de resistência mais elevados quando comparados com os vibrados e a microestrutura da pasta se mostrou mais enriquecida e com melhor condição na zona de transição desta com os agregados, contribuindo para um melhor desempenho mecânico do concreto.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

O estudo experimental foi realizado a fim de analisar as influências que as adições minerais pó de mármore e cinza da casca de arroz podem exercer sobre o concreto autoadensável, observando suas propriedades tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Este capítulo aborda as descrições dos materiais utilizados e os métodos experimentais a desenvolvidos. A parte experimental foi desenvolvida no laboratório do Centro Universitários Assis Gurgacz.

A seguir são descritas as etapas realizadas do procedimento experimental:

- Seleção e caracterização dos materiais;
- Produção do concreto autoadensável;
- Ensaio no estado fresco do CAA;
- Ensaio no estado endurecido do CAA.

3.1.1 Seleção e caracterização dos materiais

3.1.1.1 Cimento

Segundo Tutikian (2008), para concretos autoadensáveis, a quantidade de finos em sua composição é elevada devido à necessidade de proporcionar uma maior coesão à mistura, e para atender a essa exigência se faz necessário a utilização de cimentos que apresentam uma maior superfície específica, os quais são responsáveis por diminuir a distância e aumentar a frequência de colisão das partículas.

O cimento CPV-ARI utilizado foi da marca Itambé e apresenta uma massa específica média de $3,09\text{g/cm}^3$ conforme dados da tabela do fabricante. Suas características físicas e químicas respeitaram às recomendações da NBR 5733 (EB 2) – Cimento Portland composto – Especificação para ambos os traços (ABNT, 1991). A tabela 06 apresenta as principais características do cimento fornecidos pelo fabricante e o relatório completo encontra-se no anexo A.

Tabela 6 - Características do cimento CPV-ARI.

Composição química (%)						Composição física				
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Blaine cm ² /g	Resistência à compressão (MPa)			
							1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
4,14	19,21	2,96	60,19	4,12	3,09	4.332	22,4	37,9	45,2	54,8

Fonte: Itambé (2017).

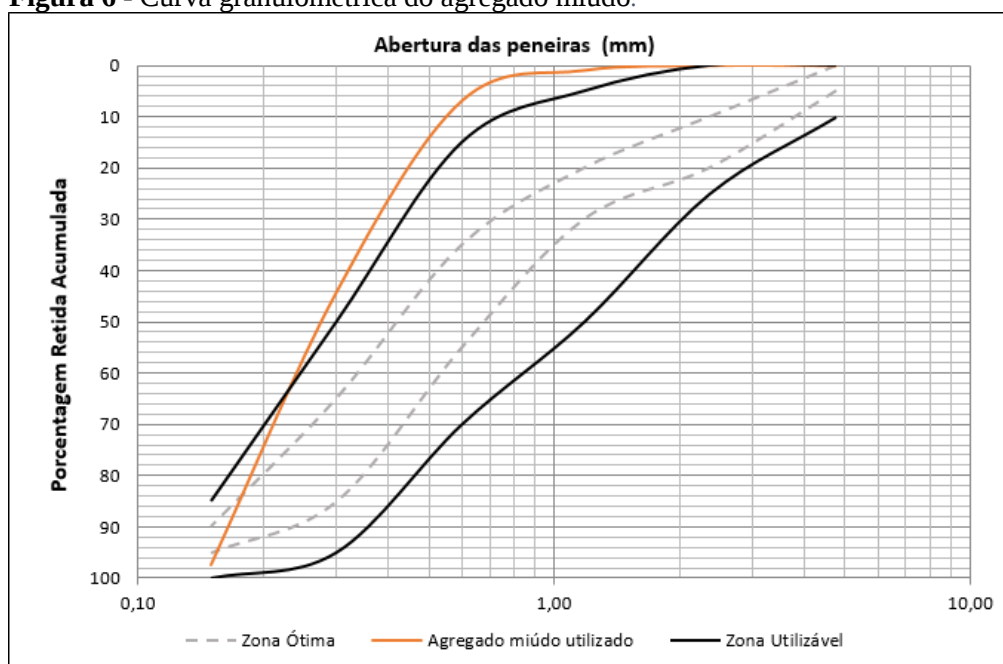
3.1.1.2 Agregados

Como a utilização de agregados no CAA difere do CCV (concreto convencional) apenas na quantidade de finos (maior quantidade de miúdo e menor quantidade de graúdo), foram empregados os mesmos agregados que são utilizados na mistura do concreto convencional. O agregado miúdo utilizado, para a seguinte pesquisa, foi a areia natural proveniente da cidade de Cascavel-PR. Já o agregado graúdo, foi utilizado a brita nº0, conhecida também como pedrisco, originadas de rochas basálticas e com diâmetro máximo igual a 19mm, proveniente de uma pedreira da mesma cidade. Para tais materiais foram analisados sua distribuição granulométrica conforme a NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003) e NBR NM 53 – Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009), massa específica conforme a NBR NM 52 – Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2003).

Mediante os valores médios obtidos, juntamente com a curva granulométrica, é possível observar, através da Figura 06, que a areia natural utilizada para a seguinte pesquisa não se enquadra exatamente dentro das faixas estabelecidas como zonas ótimas e utilizáveis. Para a produção de concreto autoadensável seria ideal o incremento de outro tipo de agregado miúdo para que sua granulometria seja mais adequada para seu uso.

Embora não apresente uma boa adequação da sua distribuição granulométrica, optou-se por empregar este material como agregado miúdo para a confecção do concreto. A Figura 06 apresenta os resultados obtidos para o agregado miúdo.

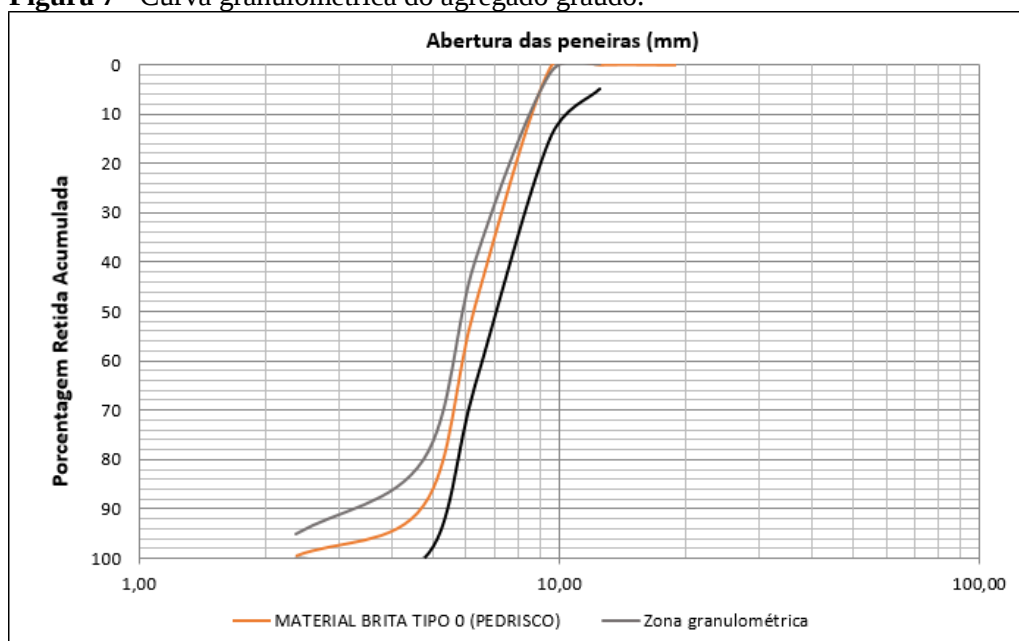
Figura 6 - Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autora (2017).

No ensaio do agregado graúdo, pode-se observar que o limite estabelecido para a granulometria do material foi respeitado fazendo com que o mesmo se enquadre dentro das faixas de zonas granulométrica, tornando-o um material ótimo para uso em concreto autoadensável, descartando a necessidade da mescla de outro tipo de agregado e tornando o material propício para aplicações em concretos autoadensáveis. A Figura 07 demonstra os resultados apresentados para a granulometria do agregado graúdo.

Figura 7 - Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Autora (2017).

As curvas granulométricas, tanto para o agregado miúdo como para o agregado graúdo, foram obtidas a partir da média de duas amostras, sendo os resultados apresentados nos Apêndice A, respectivamente. Além do mais, a tabela 07 apresenta algumas características físicas dos agregados obtidos através do ensaio de granulometria, massa específica e massa unitária.

Tabela 7 - Caracterização física dos agregados.

	Areia natural	Brita 0
Dimensão máxima (mm)	1,18	9,50
Módulo de finura	2,50	3,39
Massa específica (g/cm ³)	1,63	2,73
Massa unitária (g/cm ³)	1,78	1,77

Fonte: Autora (2017).

3.1.1.3 Adições minerais

As adições minerais empregadas no CAA tem por função conferir características específicas ao concreto, além de aumentar a coesão e a viscosidade, tendo a finalidade de evitar a segregação do agregado e contribuir para a fluidez da mistura (MELO, 2005).

Como adições minerais, e por serem o objetivo desta pesquisa, foram utilizados o pó de mármore, proveniente de uma empresa da marmoraria da cidade de Cascavel-PR, e a cinza da casca de arroz, oriundas de uma usina de biomassa localizada na cidade de São Borja, no Rio Grande do Sul.

Primeiramente realizou-se a checagem da granulometria das adições e ambas tiveram suas partículas passantes na peneira 200, com abertura 75µm. Logo, realizou-se o ensaios com base na ABNT NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica (2001), e obteve-se os seguintes resultados, conforme ilustra a tabela 08, os demais resultados se encontram no Apêndice A.

Tabela 8 - Massa específica das adições.

Adição mineral	Massa específica (y)
Pó de mármore	2,79 g/cm ³
Cinza da casca de arroz	2,08 g/cm ³

Fonte: Autora, 2017.

3.1.1.4 Aditivo

Conforme abordado anteriormente, o uso de aditivos auxiliam no aumento da fluidez do concreto autoadensável, no seu estado fresco, sem que haja a necessidade de aumentar o consumo de água na mistura. Desta forma, para cada tipo de aplicação há especificações de aditivos conforme suas composições químicas.

Para a produção do CAA do referente estudo, foi utilizado aditivo superplastificante de terceira geração da marca FortFlow, disponibilizado pela empresa fabricante DAF Química. O produto é um aditivo baseado em polímeros de éteres carboxílicos modificados que possui um excelente efeito dispersante através da sua função de repulsão eletrostática sobre os grãos cimentícios que, além de uma redução significativa na demanda de água, proporciona maiores resistências mecânicas iniciais e finais, atendendo assim a NBR 11.768 (2011). O aditivo FortFlow apresenta um peso específico de $1,095 \pm 0,02 \text{ g/dm}^3$, conforme informações do fabricante.

3.1.1.5 Água

Para os ensaios da seguinte pesquisa foi utilizada água potável, proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Cascavel-PR.

3.1.2 Métodos

3.1.2.1 Dosagem/produção do concreto autoadensável

Com objetivo de desenvolver um concreto que preencha os vazios dos agregados e proporcione boa fluidez, para elaboração do traço, foi adotado o método de dosagem de Gomes *et al.* (2002;2003), sendo que o mesmo é apresentado na Tabela 09.

Tabela 9 - Traço piloto elaborado pelo método de Gomes.

Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Aditivo (% da massa de cimento)	Fíler (% da massa do cimento)
1	2	2	0,4	1,2	10

Fonte: Gomes e Barros, 2009.

Através do traço piloto fez-se a produção do concreto que se dividiu em duas etapas: na primeira etapa teve-se a produção da mistura com a adição de pó de mármore e a segunda foi a mistura com a adição de cinza da casca de arroz. Para cada mistura foram produzidos 26,5L de concreto. A tabela 10 apresenta a quantidade de material total utilizado para confeccionar 53 litros de concreto, conforme traço estipulado.

Tabela 10 - Quantidade de material para a produção de 53L de concreto.

Material	Quantidade
Cimento	26,94 kg
Areia natural	53,89 kg
Brita 0	53,89 kg
Água	10,77 L
Aditivo	0,32 L
Adições minerais	1,34 kg

Fonte: Autora, 2017.

A sequência para o desenvolvimento do CAA consistiu em, primeiramente, realizar a pesagem e separação dos materiais conforme estabelecido por traço. Feito isso, fez-se a umidificação da betoneira e a colocação dos materiais na ordem: brita, uma parcela da água, areia, cimento, que foram misturados por aproximadamente 1 min. Em seguida, acrescentou-se o restante da água e o aditivo e deixou-se misturar por mais 5 min, observando a consistência do concreto.

Para ambas etapas da mistura, tanto para o pó de mármore como para a CCA, seguiu-se a seguinte ordem de colocação dos materiais:

- a) 100% de brita 0;
- b) 50% de água;
- c) 100% de areia natural;
- d) 100% cimento;
- e) mistura – 1 min;
- f) 50% de água restante;
- g) 100% de aditivo.

3.1.2.2 Ensaios no estado fresco

Após o procedimento de mistura do concreto, foi feita a caracterização do concreto no estado fresco através dos ensaios de espalhamento, Funil-V e Caixa-L de acordo com a NBR 15823-1 (2010).

3.1.2.2.1 Slump Flow Test

Um dos ensaios mais utilizados para avaliar o concreto autoadensável, tanto em laboratório quanto no canteiro de obra, é o ensaio de espalhamento, também conhecido como slump flow test. Ensaio simples e fácil de realizar, pois utiliza o mesmo cone de Abrams que é empregado nos ensaios do CCV.

Para a realização do ensaio foi necessário uma placa metálica com dimensões iguais a 100 x 100cm, o cone Abrams, concha metálica para enchimento do cone e trena para medição. O ensaio, com o intuito de avaliar a capacidade da mistura fluir sem segregar, consistiu em medir o diâmetro de abertura do concreto em duas direções distintas (diâmetro maior e menor) após o levantamento do cone de Abrams e calcular a média.

3.1.2.2.2 Funil-V

Para verificação da fluidez e a habilidade do concreto de atravessar uma seção estreita sem o auxílio de vibrações externas, apenas sob a ação do seu próprio peso, fez-se o ensaio do Funil – V, na qual o mesmo consistiu em preencher completamente o funil e avaliar o seu tempo de escoamento total.

Utilizou-se um cronômetro para medição do tempo de escoamento (s) entre o instante da abertura da base do funil e aquele em que todo o concreto fluiu.

3.1.2.2.3 Caixa-L

O último ensaio no estado fresco se deu através da Caixa – L que tem como finalidade verificar a capacidade passante do CAA através dos obstáculos, como armaduras. O mesmo consistiu em medir o tempo necessário para que o concreto atingisse a marca de 40 cm do trecho horizontal de escoamento, e o seu preenchimento na caixa sem que haja segregação.

Ao final, após a caixa estar preenchida, foi feito a medição das duas alturas: a do final do trecho horizontal (h_1) e a do início do trecho vertical (h_2), conforme percurso feito pelo concreto na caixa.

3.1.2.3 Ensaios no estado endurecido

De maneira a estudar o comportamento do concreto autoadensável no estado endurecido os mesmo concretos produzidos nos ensaios de autoadensabilidade foram utilizados para moldagem de corpos de prova e ensaios para determinação da resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção por imersão.

3.1.2.3.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova se deu conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram moldados, para cada mistura, 16 corpos de prova cilíndricos com dimensão 10 x 20 cm, cuja desmoldagem se deu em 24h, permanecendo em câmara úmida até a idade de rompimento. Na moldagem dos corpos de prova para concreto autoadensável não há o procedimento de adensamento com haste metálica, apenas é adicionado o concreto ao molde completando todo o seu volume, logo é feito o seu rasamento com uma colher de pedreiro, eliminando o material em excesso.

Ao todo, para cada adição, foram moldados nove corpos de prova para determinação da resistência a compressão, sendo 3 corpos de prova aos 7 dias, 3 aos 14 dias e 3 aos 28 dias. Três corpos de prova foram moldados para a determinação do módulo de elasticidade, aos 28 dias. Para a análise de absorção do concreto, foram moldados 4 corpos de prova, sendo 2 aos 7 dias e 2 aos 28 dias. Terminado o processo de moldagem e identificação dos 32 corpos de prova, os moldes foram colocados em local seguro sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e protegidos de intempéries por 24h conforme estabelecido por norma. Após a cura inicial, encerrado as 24h de repouso, os corpos de prova foram desmoldados e imediatamente armazenados em câmara úmida até o momento dos ensaios conforme as idades definidas.

3.1.2.3.2 Resistência à compressão

Alcançado as idades de 7, 14 e 28 dias, os corpos de prova foram submetidos a ensaio de resistência a compressão. No entanto, anteriormente a isso, realizou-se o nivelamento da superfície e da base dos corpos de prova com o auxílio da retífica.

Feito o nivelamento dos corpos de prova na retífica, com as faces dos pratos limpos e o corpo de prova centralizado, iniciou-se o processo de compressão através da prensa hidráulica e com base na norma NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova

cilíndricos (ABNT, 2007). Ao todo, foram rompidos 9 corpos de prova conforme cada adição. A Figura 08 mostra o processo do ensaio de resistência a compressão:

Figura 8 - Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autora (2017).

A NBR 5739 (2007) também aborda sobre a tolerância de tempo permitida para o rompimento dos corpos de prova conforme as suas idades. A tabela 11 apresenta a tolerância de tempo permitida para cada idade de ensaio:

Tabela 11 - Tolerância para cada idade de ensaio.

Idade de ensaio	Tolerância permitida (h)
24 h	0,5
3 dias	2
7 dias	6
28 dias	24

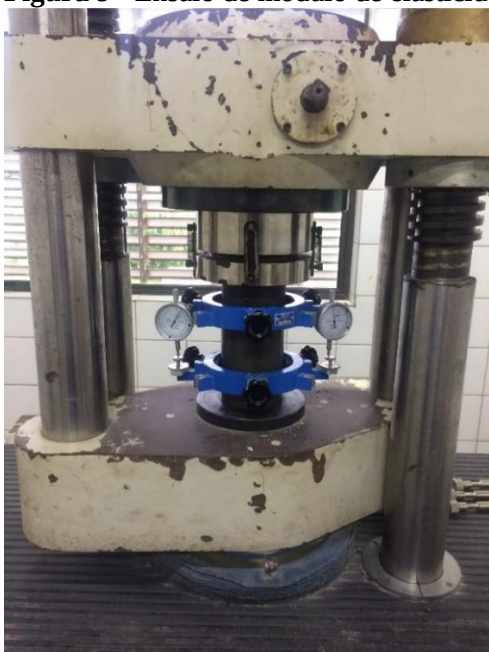
Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2007).

A norma não informa sobre a tolerância de tempo permitida para a idade de ensaio aos 14 dias, no entanto, vale ressaltar que essas tolerâncias foram respeitadas no presente estudo para as demais idades, pois os corpos de prova eram retirados da câmara úmida, retificados e logo em seguida submetidos a ensaios de resistência a compressão. Para a realização do procedimento da câmara úmida até o rompimento não levaram mais de 10 min.

3.1.2.3.3 Módulo de elasticidade

Para a determinação do módulo de elasticidade, foram utilizados 3 corpos de prova na idade de 28 dias, para cada adição. O presente ensaio teve como objetivo a realização das leituras de deslocamento através de uma carga aplicada, resultando assim na obtenção da curva tensão *versus* deformação, conforme a NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade a compressão (ABNT, 2008). A Figura 09 ilustra o ensaio de módulo de elasticidade.

Figura 9 - Ensaio de módulo de elasticidade.



Fonte: Autora (2017).

Para a determinação do módulo de elasticidade foi utilizado a Equação 01:

$$E = \frac{\sigma b - \sigma a}{\varepsilon b - \varepsilon a} \quad (1)$$

Onde:

- σb é a tensão maior (30% da tensão de ruptura);
- σa é a tensão básica (0,5 MPa);
- εa é a deformação específica média correspondente a tensão maior;
- εb é a deformação específica média correspondente a tensão básica.

3.1.2.3.4 Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água por imersão, o mesmo utilizado para concretos convencionais, foram utilizados 4 corpos de prova para cada adição, sendo 2 aos 7 dias e 2 aos 28 dias. Após os corpos de provas atingirem suas idades, os mesmos foram pesados e logo colocados em estufa a temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, na qual foi realizado leituras de sua massa no tempo de 24h, 48h e 72h conforme a NBR 9778 (2005). Estabilizada a massa, foi determinado sua massa seca (MS), no período de 72h e logo colocado para resfriar ao ar seco a uma temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, sendo registrado sua massa novamente. Feito isso, a amostra foi imersa na água na qual, após sua massa estar estabilizada, foi determinado sua massa úmida (MU). A Figura 10 mostra os corpos de prova submergidos em água.

Figura 10 - Corpos de prova submersos em água para ensaio de absorção.



Fonte: Autora (2017).

O cálculo do teor de absorção (TA) da amostra se deu através da equação da norma, conforme ilustra a Equação 02.

$$TA = \left(\frac{MU - MS}{MS} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- TA é o teor de absorção;
- Mu é a massa do corpo de prova saturado;
- Ms é a massa do corpo de prova seco em estufa.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram abordados nesse capítulo os resultados obtidos em cada etapa descrita no capítulo anterior, juntamente, com a análise de dados e discussões sobre esses resultados.

4.1.1 Concreto no estado fresco

Para análise de autoadensabilidade do concreto no estado fresco estudou-se a sua trabalhabilidade, plasticidade e escoamento através dos ensaios citados no item 2.1.2. Para ambas misturas foi empregado o mesmo traço e a temperatura ambiente no dia dos ensaios era, aproximadamente, 31°C. A tabela 12 apresenta os valores obtidos para cada ensaio, tanto para a mistura com adição de pó de mármore como para a mistura com adição de cinza da casca de arroz, juntamente com sua classificação conforme NBR 15823-1 (2010).

Tabela 12 - Classificação do CAA de acordo com a NBR 15823 (2010).

Concreto	Ensaio	Resultado	Classificação
CCA	T50 (s)	2,63	VS2
	Slump Flow (mm)	690	SF2
	Funil V (s)	4,20	VF1
	H1/H2	0,90	PA2
	T20 (s)	-	
	T40 (s)	6,25	
PÓ DE MÁRMOR	T50 (s)	3,20	VS2
	Slump Flow (mm)	745	SF2
	Funil V (s)	5,20	VF1
	H1/H2	0,90	PA2
	T20 (s)	-	
	T40 (s)	7,45	

Fonte: Autora (2017).

4.1.1.1 Slump flow test

De acordo com a norma, é possível observar que ambas adições tiveram as mesmas classificações, já que os resultados obtidos foram próximos. No ensaio de espalhamento atendeu-se o critério adotado para caracterizar uma adequada deformabilidade (entre 600 a 800mm) ao concreto autoadensável. Ainda, não obstante, as duas misturas apresentaram características satisfatórias para o ensaio, tornando-os adequados para a maioria das aplicações em elementos estruturais, tais como aquelas que possuem alta densidade de armadura.

Dentre os dados obtidos, observa-se que a cinza de casca de arroz reduziu a deformabilidade da mistura, resultando no menor diâmetro de espalhamento. Ou seja, pode-se afirmar que o a CCA promoveu uma maior tensão de escoamento à mistura, já que o espalhamento está correlacionado com a tal tensão.

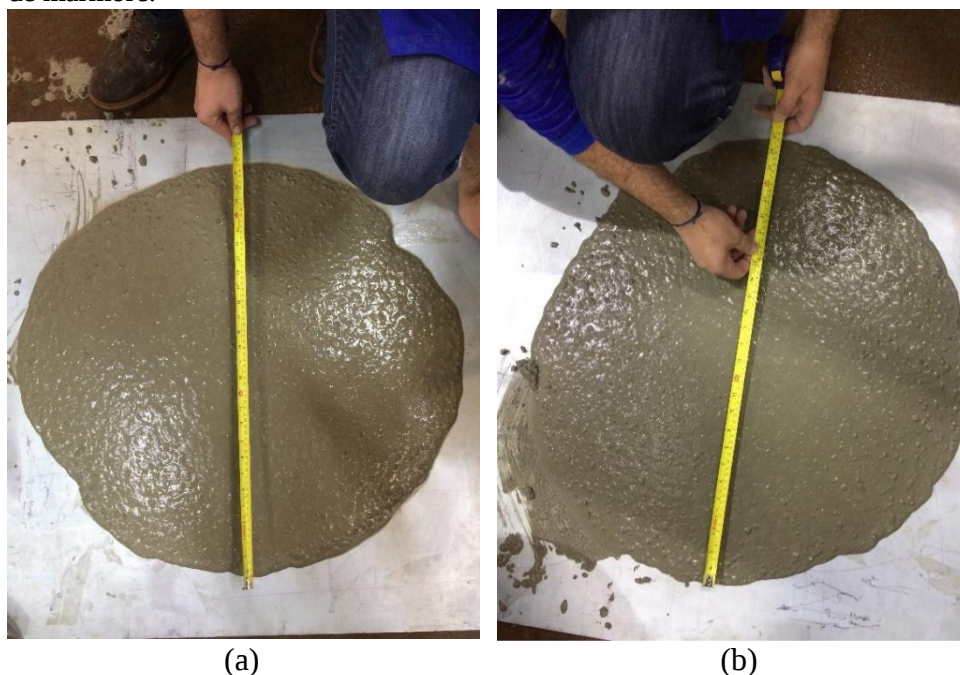
Segundo Silva (2008), em pesquisas elaboradas com diferentes tipos de concretos autoadensáveis, com agregados de dimensões máximas e em estações diferentes do ano (inverno e verão), observou-se que o diâmetro de espalhamento apresenta uma relação com a tensão de escoamento obtida por meio de ensaios reométricos. Deste modo, o autor conclui que a tensão de escoamento será menor e a mistura se apresentará mais fluida quando o diâmetro de espalhamento for maior.

Embora não tenham sido empregados reômetros na realização dos ensaios desta pesquisa, é possível ter uma estimativa da tensão de escoamento das misturas analisadas através do ensaio de espalhamento.

Para Marques (2011), o concreto que apresentar um diâmetro de espalhamento abaixo do limite inferior, denota que existe pouca fluidez no material, ou seja, é necessário fluidificar mediante água ou aditivos superplastificantes, e se o espalhamento estiver acima do limite superior, é necessário que o concreto seja mais coeso, para evitar que ocorra segregação. O mesmo autor ainda afirma que quanto maior for o diâmetro de espalhamento do concreto fresco, maior será sua habilidade de preenchimento.

Através da Figura 11, mediante as condições da superfície de espalhamento do concreto, percebe-se que nenhuma das duas amostras teve exsudação, muito menos segregação, tornando o material excelente para uso.

Figura 11 - Ensaio de espalhamento (a) concreto com adição de CCA; (b) concreto com adição de pó de mármore.



Fonte: Autora (2017).

Na verificação da fluidez e viscosidade, por meio da análise do tempo T50 (s), os resultados apresentados enquadraram-se no intervalo aceitável adotado (>2 para VS2). Mediante isso, pode-se afirmar que ambas as misturas caracterizam-se como sendo autoadensáveis.

4.1.1.2 Funil - V

No ensaio com Funil-V, os resultados obtidos para o tempo de escoamento foram menores que o limite mínimo aceitável ($< 8s$). Fatores como: baixa viscosidade das misturas e a dificuldade em medir o tempo com exatidão podem ser uns dos motivos justificáveis para o baixo tempo de escoamento. Para Marques (2011), quando o fato de o tempo de fluidez do funil se apresentar maior, isto significa que o concreto possui maior viscosidade e uma melhor resistência à segregação. Mesmo o tempo sendo inferior ao estipulado, todos os concretos foram considerados adequados.

4.1.1.3 Caixa – L

Na Caixa-L, os resultados obtidos indicaram uma boa fluidez para ambas misturas, apresentando uma habilidade passante, entre as seções estreitas, satisfatória. Ademais, não

houve a ocorrência de segregação na região anterior à armadura e ao longo do comprimento da caixa após ter cessado o fluxo do concreto, ou seja, mantiveram-se estáveis.

Com base no coeficiente de bloqueio, os valores encontrados para as duas misturas foram iguais e se apresentaram maiores que o mínimo estipulado pela norma. Sendo assim, as misturas analisadas apresentaram baixa resistência ao bloqueio perante as armaduras, demonstrando adequada capacidade de preenchimento das formas.

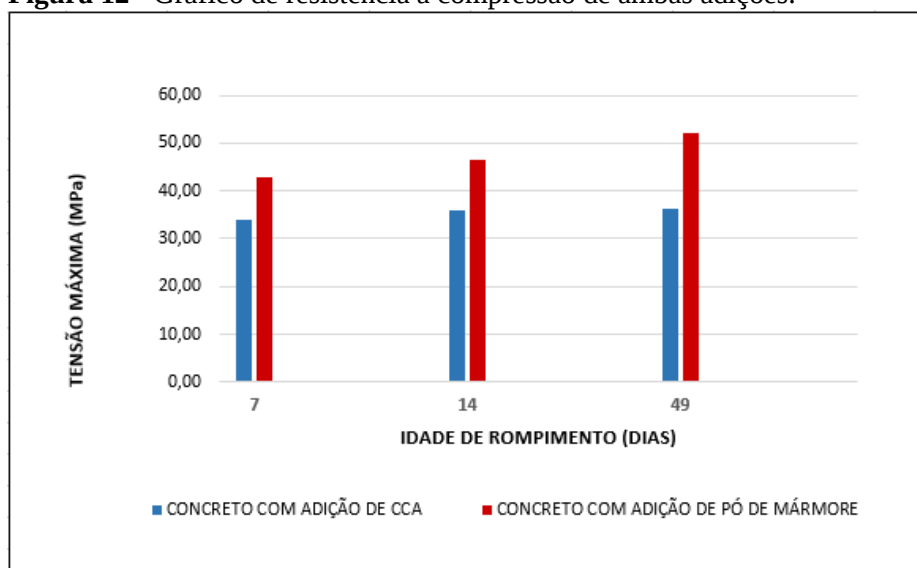
Num contexto geral, examinando os resultados obtidos de acordo com as características dos ensaios elaborados e, juntamente, com os limites estabelecidos e adotados por normas, os concretos produzidos e analisados enquadram-se como sendo autoadensáveis, pois apresentaram: boa resistência à segregação, excelente habilidade passante e uma coesão e viscosidade satisfatórias.

4.1.2 Concreto no estado endurecido

4.1.2.1 Resistência à compressão

Como descrito na metodologia desta pesquisa, para o ensaio de resistência à compressão, foram separados nove corpos de prova para rompimento nas idades de sete, quatorze e vinte e oito dias. No entanto, devido a problemas mecânicos com a prensa, os corpos de provas destacados para rompimento dos 28 dias foram adiados, sendo rompidos aos 49 dias. Os valores obtidos para cada idade estão ilustrados na Figura 12 a seguir, e os relatórios obtidos através da prensa se encontram no Anexo B.

Figura 12 - Gráfico de resistência à compressão de ambas adições.



Fonte: Autora (2017).

A partir da Figura 12 é possível notar que o concreto com adição de pó de mármore obteve, tanto para a idade de sete, quatorze e quarenta e nove dias, valores de resistência maiores que o concreto com adição de cinza de casca de arroz, atingindo patamares elevados após os 49 dias de idade com resistências acima de 50MPa. Nota-se também que para cada idade analisada ambas adições tiveram suas resistências gradativamente crescentes, no entanto, o pó de mármore apresentou um ganho significativo ao longo das idades. Através do Figura 20 é possível observar essa diferença.

É perceptível que as reações de hidratação dos componentes do cimento são elevados devido ao aumento do tempo de cura do concreto, resultando em resistências maiores. Além disso, uma das justificativas para que o pó de mármore apresentasse maior resistência se deve ao fato deste apresentar partículas muito finas que, segundo Soares (2014), atuam como ponto de nucleação, proporcionando uma boa dispersão das partículas cimentantes, assim ocasionando uma melhora nas condições de hidratação. Ademais, houve um preenchimento do espaço de zonas de transição ocasionando na redução do espaço livre para a água nessa região, e essa ação é resultante das partículas finas do resíduo. O mesmo autor ainda afirma que a fusão desses elementos ocasionou em uma melhor ligação entre os componentes da matriz cimentícia, proporcionando um concreto com resistência maiores.

Outro fator que venha ser uma possível explicação para a cinza da casca de arroz ter apresentado uma menor resistência à compressão, quando comparada ao pó de mármore, é o caso da mesma não ter sido calcinada suficientemente, obtendo com isso a presença de material orgânico e uma finura inadequada em sua composição, não podendo ser classificada como um material pozolânico ideal. Para Barbosa (2006), a obtenção de significativo ganho de resistência e durabilidade do concreto está diretamente ligada com o efeito químico e físico da atividade pozolânica, relacionados com o tamanho das partículas, ou seja, para que a CCA apresente uma melhor condição de pozolanicidade é preciso que a mesma sofra um processo de moagem ideal para a obtenção de um material mais fino.

Ainda, Netto (2006) afirma que, a reatividade da cinza está diretamente ligada à temperatura de queima da casca e o tempo de exposição a essa temperatura, e a sua superfície específica. Ou seja, a reatividade vai depender da formação de sílicas na forma cristalina e amorfa, quando submetidas a diferentes temperaturas durante o processo de combustão.

Outro fator que venha ser justificativa para a cinza da casca de arroz ter apresentado uma menor resistência à compressão quando comparada ao pó de mármore, é o caso da mesma não ser classificada como um material pozolânico ideal.

Pesquisas elaboradas no laboratório da instituição, com a mesma cinza de casca de arroz empregado no presente estudo, mostram que a mesma não apresenta pozolanicidade. A pesquisa consistiu na realização de ensaios de resistência à compressão de seis corpos de prova com dimensões de 50x100mm aos 28 dias. Os três primeiros corpos de prova não possuíam nenhum tipo de adição e obtiveram uma tensão média de 7,97 MPa, os outros três corpos de prova continham 25% de cinza de casca de arroz em sua composição, alcançando uma tensão média de 1,93 MPa. Com a tensão média de ambas amostras, a autora obteve um índice de atividade pozolânica de 24,27%. Para a NBR 5752 (2014), um resíduo para ser considerado como material pozolânico deve apresentar um índice de atividade pozolânica mínima de 75% aos 28 dias, desta maneira, pode-se concluir que a cinza empregada na pesquisa não é classificada como um material pozolânico.

Outra característica notável no ensaio de resistência à compressão é a ruptura dos corpos de prova. Para Barbosa (2012), os concretos autoadensáveis quando submetidos a rompimento, a ruptura do corpo de prova, na maioria dos casos, ocorre de maneira brusca. No entanto, devido à baixa resistência apresentada, não houve esse tipo de comportamento. Ambas adições apresentaram ruptura frágil, sem fragmento em pedaço. A Figura 13 e 14 demonstram os corpos de prova após submetidos a rompimento.

Figura 13 - Corpo de prova com filer de CCA após ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autora (2017).

Figura 14 - Corpo de prova com filer de pó de mármore após ensaio de resistência à compressão.

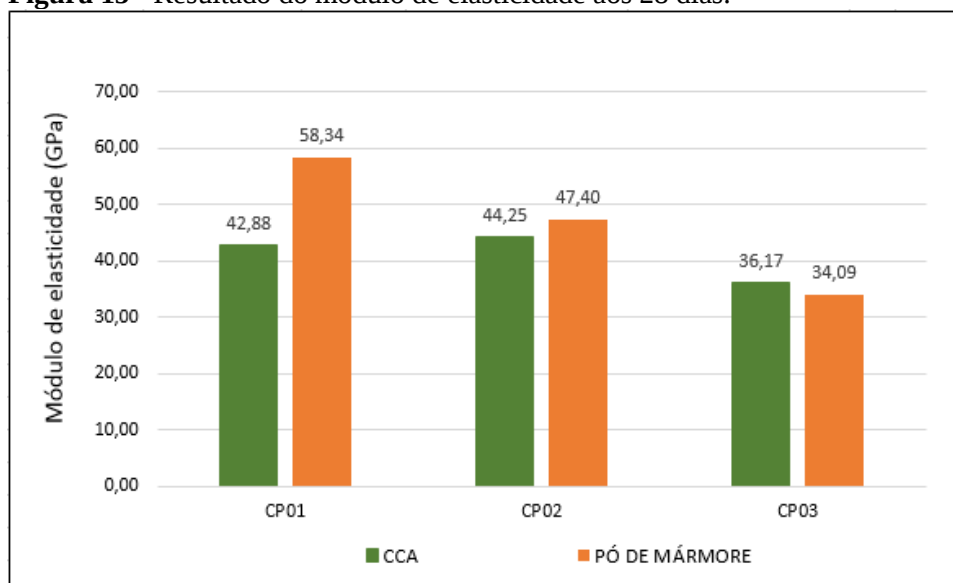


Fonte: Autora (2017).

4.1.2.2 Módulo de elasticidade

A partir dos ensaios de módulo de resistência realizados no concreto, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 24. O módulo resultou da média de 3 corpos de prova ensaiados, sendo os resultados apresentados no Apêndice C e o relatório gerado pelo equipamento encontra-se no Anexo C.

Figura 15 - Resultado do módulo de elasticidade aos 28 dias.



Fonte: Autora (2017).

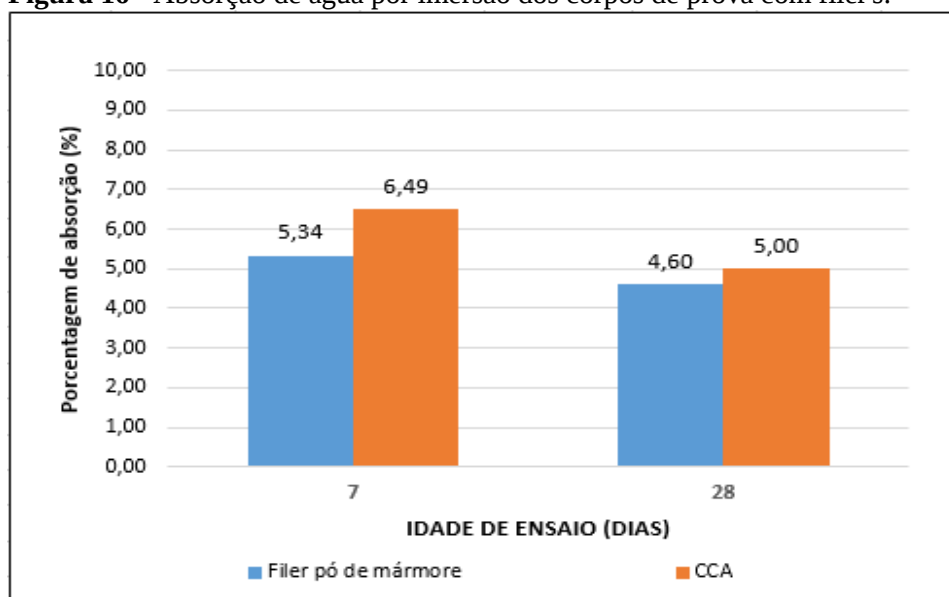
Nota-se que os CP's 02 e os CP's 03 apresentaram resultados semelhantes entre si, no entanto, apenas os CP's 01 apresentou divergência, na qual o pó de mármore atingiu um valor elevado, com 27,50% de diferença. Segundo Melo (2005), no concreto autoadensável, a cinza tem como principal efeito a redução, em menor intensidade, do módulo de elasticidade, podendo este ser corrigível através do incremento de sílica ativa ou pela redução água/materiais cimentícios. O mesmo autor ainda prescreve que, o módulo de elasticidade em CAA's, tende a sofrer uma redução, mesmo que não haja incremento de adições, pois boa parte desse comportamento está na influência de módulo de elasticidade de cada material, especialmente dos agregados, que para este tipo de concreto, são empregados em menores quantidades.

Observa-se também que os valores obtidos de resistência mecânica e de módulo de elasticidade estão correlacionados, ou seja, um tende a variar de modo proporcional ao outro. Isso é justificável por Mendes (2015), na qual afirma que com o aumento da resistência mecânica, os níveis de rigidez dos concretos tendem, também, a serem aumentados.

4.1.2.3 Absorção de água por imersão

De maneira a avaliar o desempenho do concreto, quando se trata de durabilidade através da caracterização da porosidade total do mesmo, realizou-se ensaio de absorção por imersão conforme a NBR 9778 (2005). A Figura 16 apresenta as médias dos valores para cada tipo de fíler, e os demais resultados encontram-se no Apêndice B.

Figura 16 - Absorção de água por imersão dos corpos de prova com fíler's.



Fonte: Autora (2017).

Conforme os dados apresentados acima, nota-se que na idade dos sete dias os valores de absorção são maiores para ambas adições, no entanto, com o passar do tempo, tem-se uma diminuição de absorvimento.

O corpo de prova com fíler de CCA absorveu maior quantidade de água, isso ocorre possivelmente devido a incorporação de ar. Para Soares (2014), o tipo de fíler, a relação água/cimento e a interação entre esses dois dados interferem significativamente nos resultados obtidos para o ensaio de absorção por imersão.

De acordo com Lacerda (2005), segundo a absorção de água, os concretos podem ser classificados de acordo com a sua porcentagem de absorção. São consideradas duráveis quando apresentarem um percentual menor que 4,5%; normal, quando a absorção estiver entre 4,5% e 6,3%; e para valores acima de 6,3% são considerados como deficientes.

Mediante isso, aos 28 dias, tanto o concreto com fíler de pó de mármore como o concreto com fíler de cinza da casca de arroz, apresentaram, respectivamente, uma porcentagem de absorção de 4,6% e 5,0%, o que os coloca na condição de concretos normais.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando a proposta inicial da seguinte pesquisa, juntamente com os seus objetivos, buscou-se avaliar a influência das adições nas misturas e qual delas apresentaria melhores características para o concreto autoadensável no quesito controle de segregação e exsudação da mistura. Ainda, entre os objetivos principais na análise do concreto no estado endurecido, avaliar o comportamento dos filer's quanto ao seu uso na resistência mecânica e nos efeitos relacionados à absorção de água.

A escolha dos materiais empregados para confecção do concreto se deu de maneira satisfatória, sendo que essa escolha é um ponto muito importante para compor o concreto autoadensável, pois fatores como granulometria dos agregados atuam diretamente na estabilidade e deformabilidade do concreto.

Devido ao fato de ter-se adotado um traço piloto e por não haver a necessidade de dosagem da mistura, o teor de aditivo empregado na elaboração do concreto se apresentou adequado, pois o mesmo proporcionou uma boa viscosidade para o concreto, ou seja, o teor definido se deu maneira uniforme para ambas misturas.

Com relação aos ensaios adotados para análise das propriedades e características dos concretos produzidos, no estado fresco e no endurecido, os mesmos permitem concluir que ambas as adições tiveram o comportamento satisfatório. No entanto, o filer pó de mármore apresentou resultados superiores à cinza da casca de arroz. O ensaio de resistência à compressão apresentou resistências elevadas frente àquelas obtidas pela mistura de CCA, provando que seu uso nesse sentido pode ser aprovado. O módulo de elasticidade também se apresentou satisfatório, porém, para a mistura com cinza de casca de arroz, deve-se analisar métodos para correção, visto que o mesmo apresenta um comportamento de redução para esse ensaio. Já no ensaio de absorção de água por imersão do concreto, verificou-se que tanto na primeira idade quanto nas idades finais de cura ambos os processos absorveram quantidades de água semelhantes, dando destaque ao concreto com CCA, que teve um maior percentual de absorção.

No mais, observa-se que ambas as adições apresentaram características significativas e atenderam os objetivos impostos para análise do CAA. Contudo, cabe ressaltar que o filer de pó de mármore apontou resultados superiores quando comparado à cinza da casca de arroz. Deste modo, pode-se dizer que o filer de pó de mármore desempenha uma maior influência no concreto autoadensável.

CAPITULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A continuidade da seguinte pesquisa pode ser baseada nas respectivas propostas:

- Estudo relacionado a reologia da pasta para obtenção de resultados mais preciso;
- Verificação do desempenho do concreto autoadensável com incremento de outras adições minerais através do mesmo traço;
- Avaliação dos parâmetros reológicos (tensão de escoamento, tensão cisalhante, viscosidade) por meio de ensaios com reômetros.
- Análise da viabilidade do emprego das adições frente a um estudo comparativo de custos;
- Estudo sobre a caracterização físicas e químicas das adições minerais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Thiago de Freitas. **Reaproveitamento do resíduo de pó de mármore e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmica**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Uenf, Rio de Janeiro, 2014.

APOLINÁRIO, Elenice Carmo de Abreu. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland**. 2014. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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

BARBOSA, Michele Beniti. **Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho**. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

DAROS, Bruna. **Estudo e desenvolvimento do concreto auto-adensável com metacaunita**. 2009. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2009.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini Ltda, 2009.

GONÇALVES, Jardel Pereira; MOURA, Washington Almeida; MOLIN, Denise Carpena Coitinho dal. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto**. 2002. 16 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

HASSE, Jéssica Amanda. **Influência do uso de adição de fíler cerâmico no controle de segregação e exsudação de concretos auto adensáveis**. 2014. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

KLEIN, Nayara Soares. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável**. 2008. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

KUMAYAMA, Rosemarie et al. **Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto auto-adensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido (EPS)**. Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [s.l.], v. 10, n. 2, p.56-71, 23 set. 2015. Universidade Federal de Goiás.

LACERDA, Charles Siervi. **Estudo da influência da substituição do cimento Portland por metacaulim em concretos**. 2005. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo - Epusp, São Paulo, 2005.

LUDWIG, Douglas Giongo. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. 2014. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

MARQUES, Ana Carolina. **Concreto auto-adensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. 2011. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo - Epusp, São Paulo, 2011.

MELO, Karoline Alves de. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. 2005. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENDES, Cleiton João. **Concreto autoadensável utilizando cinza de casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas**. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

MENEZES, Christiane Mylena Tavares de. **Concreto auto-adensável utilizando metacaulim e pó de pedra como adições minerais**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MENEZES, Ricardo Gallart de; LARIZZATTI, João Henrique. **Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica**. 2005. 16 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MONTANI, Carlo. **Panorama mundial do setor de rochas ornamentais e de revestimento**. 25. ed. São Paulo: Aldus Casa di Edizioni In Carrara, 2013. 12 p.

NETTO, Rafael Mantuano. **Materiais pozolânicos**. 2006. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NUNES, Sandra Conceição Barbosa. **Betão auto-compactável: tecnologia e propriedades**. 2001. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto Faculdade de Engenharia, Porto, 2001.

PAIXÃO, Suelen de Oliveira. **Estudo do uso de resíduo cerâmico de obras como agregado miúdo para a fabricação de argamassas para revestimento de alvenarias.** 2013. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

POUEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamento da cinza da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. 345 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RAZERA, Jucelem. **Avaliação comparativa dos custos de produção e aplicação de concretos autoadensável e convencional.** 2012. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2012.

SANTOS, Adriana Padilha dos; LACHOWSKI JÚNIOR, Nivaldo. **Estudo experimental e análise da viabilidade do emprego de pó de mármore para a produção de concreto auto-adensável.** 2012. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, Marcelo Otaviano Barbosa. **Produção do concreto auto-adensável (CAA) com a utilização de materiais da região de Belém-PA.** 2008. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

SILVA, Watuzi da Rosa da. **Estudo da cinza da casca de arroz como adição ativa no cimento.** 2014. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SOARES, Rubielly Bastos. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com a incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais.** 2014. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SOUSA, José Gonçalves de. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais.** 2007. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Juíz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; MOLIN, Denise Carpena dal. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: Pini Ltda, 2008.

APÊNDICE A

MASSA ESPECÍFICA AREIA NATURAL				
Ensaio areia com picnometro ($Me=M/V_{ag}+ar-V_{\text{água}}-M$)				
	MASSA AMOSTRA (g)	FRASCO + ÁGUA	FRASCO + ÁGUA + AREIA	MASSA ESPECÍFICA g/dm ³
AMOSTRA 1	500	629,2	800,3	1,52
AMOSTRA 2	500	629,2	841,3	1,74
AMOSTRA 3	500	629,2	823,0	1,63
MEDIA				1,63

MASSA ESPECÍFICA PEDRISCO			
Quantidade de material (g)	400		
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Peso submerso (g)	400	400	400
Diferença	150	150	140
Massa Específica (g/cm ³)	2,67	2,67	2,86
MÉDIA	2,73		

MASSA ESPECÍFICA PÓ DE MÁRMORE				
Ensaio areia com picnometro ($Me=M/V_{ag}+ar-V_{\text{água}}-M$)				
	MASSA AMOSTRA (g)	FRASCO + ÁGUA	FRASCO + ÁGUA + AREIA	MASSA ESPECÍFICA g/dm ³
AMOSTRA 1	500	629,2	952,8	2,83
AMOSTRA 2	500	629,2	948,2	2,76
AMOSTRA 3	500	629,2	951,3	2,81
MEDIA				2,80

MASSA ESPECÍFICA CCA				
Ensaio areia com picnometro ($Me=M/V_{ag}+ar-V_{\text{água}}-M$)				
	MASSA AMOSTRA (g)	FRASCO + ÁGUA	FRASCO + ÁGUA + AREIA	MASSA ESPECÍFICA g/dm ³
AMOSTRA 1	500	629,2	655,0	1,05
AMOSTRA 2	500	629,2	654,9	1,05
AMOSTRA 3	500	629,2	655,2	1,05
MEDIA				1,05

APÊNDICE B

FÍLER PÓ DE MÁRMORE 03		
7 dias	Massa CP (10x20cm) seca (g)	3625,15
7 dias	Massa CP (10x20cm) saturado (g)	3818,65
	Absorção de água (%)	5,34

28 dias	Massa CP (10x20cm) seca (g)	3625,25
28 dias	Massa CP (10x20cm) saturado (g)	3792,15
	Absorção de água (%)	4,60

FÍLER CCA 03		
7 dias	Massa CP (10x20cm) seca (g)	3462,20
7 dias	Massa CP (10x20cm) saturado (g)	3686,95
	Absorção de água (%)	6,49

28 dias	Massa CP (10x20cm) seca (g)	3594,55
28 dias	Massa CP (10x20cm) saturado (g)	3774,40
	Absorção de água (%)	5,00

APÊNDICE C

		DEFORMAÇÃO A				
		RELÓGIO 1 (mm)	delta L/ L (mm)	RELÓGIO 2 (mm)	delta L/ L (mm)	MÉDIA RELOGIO 1 E 2
CCA	CP01	-0,00200	-0,0000200	-0,00450	-0,0000450	-0,00003250
	CP02	-0,00700	-0,0000700	0,01000	0,0001000	0,00001500
	CP03	0,00200	0,0000200	-0,00400	-0,0000400	-0,00001000
PÓ DE MÁRMORE	CP01	0,00400	0,0000400	0,00000	0,0000000	0,00002000
	CP02	0,01900	0,0001900	0,01100	0,0001100	0,00015000
	CP03	0,00500	0,0000500	0,00000	0,0000000	0,00002500

		DEFORMAÇÃO B				
		RELÓGIO 1 (mm)	delta L/ L	RELÓGIO 2 (mm)	delta L/ L	MÉDIA RELÓGIO 1 E 2
CCA	CP01	0,0170	0,0001700	0,0250	0,0002500	0,00021000
	CP02	0,0040	0,0000400	0,0460	0,0004600	0,00025000
	CP03	0,0390	0,0003900	0,0165	0,0001650	0,00027750
PÓ DE MÁRMORE	CP01	0,0280	0,0002800	0,0280	0,0002800	0,00028000
	CP02	0,0790	0,0007900	0,0150	0,0001500	0,00047000
	CP03	0,0330	0,0003300	0,0610	0,0006100	0,00047000

		RESISTENCIA EFETIVA (Mpa)	REST. EFETIVA/REST. MÉDIA	DIFERE	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)	TENSÃO DO LIMITE SUPERIOR (MPa)
CCA	CP01	25,8	0,710156895	-29%	36,33	10,899
	CP02	35,9	0,988164052	-1%	36,33	10,899
	CP03	47,3	1,301954308	30%	36,33	10,899
PÓ DE MÁRMORE	CP01	39,9	0,763928777	-24%	52,23	15,669
	CP02	41	0,78498947	-22%	52,23	15,669
	CP03	46,3	0,886463718	-11%	52,23	15,669

		MODÚLO DE ELASTICIDADE (Gpa)	MODÚLO DE ELASTICIDADE MÉDIO (Gpa)
CCA	CP01	42,88	41,10
	CP02	44,25	
	CP03	36,17	
PÓ DE MÁRMORE	CP01	58,34	46,61
	CP02	47,40	
	CP03	34,09	

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C