UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL - UNIJUI

CRISTIANE CARINE DOS SANTOS

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA EM CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR MICROSSÍLICA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO

Ijuí/RS

2015

CRISTIANE CARINE DOS SANTOS

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA EM CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR MICROSSÍLICA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Diorges Carlos Lopes

Ijuí/RS

2015

CRISTIANE CARINE DOS SANTOS

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA EM CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR MICROSSÍLICA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, dezembro de 2015

Prof. Diorges Carlos Lopes

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - Orientador

Prof. Lia Geovana Sala

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ana Paula Maran (UNIJUÍ)

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Diorges Carlos Lopes (UNIJUÍ)

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - Orientador

Dedico está conquista aos meus pais, Neri e Marilei, ao meu irmão Marciano, e ao meu namorado Gustavo, pelo apoio, incentivo e compreensão ao longo de todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por sempre ter iluminado os meus passos, ter me conduzido para o caminho do bem e ter me dado força e coragem para ir à busca da realização dos meus objetivos.

Aos meus pais, Neri José dos Santos e Marilei Elizabeth dos Santos, e meu irmão Marciano José dos Santos, pelo incentivo, força, compreensão, apoio, que estiveram ao meu lado durante todos esses anos me ajudando para conseguir alcançar esta conquista, que também é de vocês, e dizer que sem vocês eu não chegaria aonde cheguei. E em nome deles agradeço aos demais familiares que sempre torceram por mim.

Ao meu namorado Gustavo Isac de Freitas, pelo amor, paciência, compreensão, apoio, sempre disposto a me ajudar. Mesmo sem ter muitos conhecimentos sobre a área, jamais deixou de dar sua atenção para os meus assuntos da faculdade, pelo contrário sempre se esforçou para poder dar a sua contribuição.

Ao meu orientador, professor Diorges Carlos Lopes, pela atenção, pelos ensinamentos e dedicação para a realização deste trabalho.

A Professora Cristiana Eliza Pozzobon pelo exemplo de profissional, pela dedicação e pelo conhecimento partilhado.

Ao professor Lucas Fernando Krug, por se disponibilizar a discutir a pesquisa, analisar os resultados, pela atenção e dedicação.

Ao professor Bóris Sokolovicz, pela busca e empenho em tentar agendar o Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Aos demais professores e amigos que de uma forma ou de outra deram sua contribuição para a realização desta conquista.

Aos laboratoristas do LEC, Luis Donato, Tulio Ribeiro e Roberto Brandão, pela ajuda prestada no decorrer da realização dos ensaios, pelo incentivo e dedicação.

Aos meus colegas de pesquisa, Pedro Goecks, Gabriela Blatt, Felipe Dacanal dos Anjos e Tatiane Thomas Soares, agradeço pelo empenho, dedicação, amizade, e toda ajuda prestada por vocês. E em nome deles agradecer a todos os colegas do Grupo PET que sempre estiveram presentes para estender a mão quando precisei.

A todos os colegas e amigos que conquistei durantes esses 5 anos da faculdade, pelos dias de estudos, de trabalhos e projetos. Principalmente a Tagiana Krenchinski e ao Paulo Dobler da Costa, pela amizade que se concretizou, pela paciência nas vésperas das provas e das entregas dos trabalhos. São pessoas que levarei para sempre em meu coração.

A Empresa FUNDIMISA, pela doação da areia de fundição.

Ao FAURO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO pelo auxílio no descarregamento da areia de fundição.

A todos que não foram citados, mas que de alguma forma estiveram ao meu lado e me ajudaram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!!!

Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!

Augusto Cury

RESUMO

SANTOS, C. C. **Análise da Resistência em Concretos com Substituição Parcial do Cimento pela Microssílica da Cinza de Casca de Arroz e Substituição Parcial da Areia Natural por Areia de Fundição.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

Os cuidados e as preocupações relacionados ao meio ambiente tornam-se cada vez mais intensos, sendo necessário encontrar alternativas que ajudem a minimizar os impactos que são continuamente causados. Através de pesquisas e estudos, surgiram alternativas de reutilizar resíduos que podem aumentar a resistência do concreto e contribuir para a sustentabilidade, ao invés de serem descartados inadequadamente. Como no Rio Grande do Sul e demais Estados, é intensa a produção de arroz, gera-se um grande volume de resíduos sólidos, resultantes das atividades de processamento e beneficiamento, identificados como cinza de casca de arroz. Quando esses resíduos não são descartados de forma correta, causam sérios problemas ambientais e a saúde das pessoas. Levando a busca por estudos e pesquisas sobre a possiblidade de substituição destes resíduos como materiais de construção civil, que além de gerar benefícios ecológicos e econômicos, também podem melhorar algumas propriedades do concreto. Assim como a cinza de casca de arroz, existem inúmeros resíduos que podem ser reutilizados como substituição de materiais que compõe o concreto, entre eles a areia de fundição, que é um resíduo gerado pelas indústrias de fundição. A areia serve como molde para as peças metálicas, sendo utilizada em todos os processos de fundição e responsável por dar forma ao metal. Depois de passar por vários processos, esta areia deve ser descartada e substituída por areia nova. Como não é mais possível a sua reutilização, a mesma deve ser destinada a um aterro industrial, que requer cuidados e monitoramentos, caso contrário gera sérios problemas a indústria responsável e ao meio ambiente. Há algum tempo atrás esta era a única alternativa de destino das areias industriais, mas através de estudos e pesquisas surgiram novos meios de reutilização destes resíduos, como a substituição parcial por materiais que constituem o concreto. Levando em consideração esses aspectos, a presente pesquisa buscou substituir parcialmente o cimento pela cinza de casca de arroz e a areia natural por areia de fundição em concretos, a fim de diminuir os impactos ambientais, o custo da produção, e principalmente melhorar as propriedades do concreto. A partir das substituições desses resíduos, que foram realizadas pela dosagem do concreto pelo Método da

ABCP, conseguiu-se analisar a influência proporcionada ao concreto pelas substituições de 5%, 10%, 15% e 20% de cada um dos resíduos em misturas separadas e em uma única mistura com os dois resíduos. Também se avaliou a resistência à compressão aos 7, 14, 21 e 28 dias e a resistência à tração aos 28 dias de idade do concreto. Com a obtenção dos resultados constatou-se que os traços com somente areia de fundição tiveram um aumento de resistência, e os traços moldados com apenas cinza de casca de arroz e com os dois resíduos juntos mantiveram-se próximos do traço referência, porém pouco inferiores. Mesmo assim, pode-se dizer que é viável a reutilização desses resíduos na construção civil, pois além de melhorar as propriedades do concreto também contribuem para a diminuição do consumo das matérias primas, auxiliando na preservação ambiental.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Adições minerais. Areias residuais. Problemas ambientais.

ABSTRACT

SANTOS, C. C. **Analysis of Resistance in Concrete with Partial Replacement of Cement by Rice Husk Ash Microsilica and Partial Replacement of Natural Sand for Casting Sand**. 2015. Final Paper. Civil Engineering Course, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

The concerns and care related with the environment are becoming increasingly severe, and it is necessary to find alternatives that will help minimize the impacts that are caused continuously. Through research and studies, emerged alternatives to reuse waste that can increase the strength of concrete and contribute to sustainability, rather than being disposed improperly. As in Rio Grande do Sul and other states, is intensive rice production, it generates a large volume of solid waste, resulting from processing and benefaction activities, identified as rice husk ash. Where such waste is not disposed of correctly, it cause serious environmental problems and to the health of people. Leading the search for studies and research on the possibility of replacing these wastes as construction materials, which in addition to generating ecological and economic benefits, can also improve some concrete properties. As well as rice husk ash, there are numerous waste that can be reused as replacement materials that compose the concrete, including the casting sand, which is a waste generated by foundry industries. The sand serves as a mold for the metal parts being used in all casting processes and responsible for giving form to the metal. After going through several processes, this sand should be discarded and replaced with new sand. As it is no longer possible to its reuse, it shall be destined for an industrial landfill, which requires care and monitoring, otherwise creates serious problems for responsible industry and the environment. Some time ago this was the only alternative destination of industrial sands, but through study and research emerged new means for reuse of this waste, such as the partial replacement of materials which make up the concrete. Considering these aspects, the present study aimed to partially replace cement by rice husk ash and natural sand for casting sand in concrete in order to reduce the environmental impacts, the cost of production, and especially improve the properties of concrete. From the replacements of these residues, which were performed by dosing of concrete with the method ABCP, it was possible to analyze the influence provided to the concrete by substitution of 5%, 10%, 15% and 20% of each of the waste into separate mixtures and a unique blend with two residues. It also assesses the compressive strength at 7, 14, 21 and 28 days and the tensile strength at 28 days of age concrete. To obtain the results it was found that the traces with only casting sand had resistence increased, and traices molded

with only rice husk ash and the two residues together remained close to the mark, but slightly lower. Still, it can be said that it is feasible the realization of this waste in construction, as well as improve concrete properties and also contribute to the decline in consumption of raw materials, assisting in environmental preservation.

Keywords: Paving. Alternative Materials. Feeder Roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de Resíduo Sólido Industrial por Classe.....31

Figura 2 - Geração de Resíduo Sólido Industrial Classe I por setor industrial 31

Figura 3 - Geração de Resíduo Sólido Industrial Classe II por setor industrial 32

Figura 4 - Casca de arroz.....34

Figura 5 - Cinza de casca de arroz descartada de maneira inadequada.....36

Figura 6 - Resistência à compressão aos 7 dias.....37

Figura 7 - Resistência à compressão aos 28 dias.....37

Figura 8 - Resistência do concreto aos 7 dias.....38

Figura 9 - Resistência do concreto aos 28 dias.....39

Figura 10 - Areia natural antes de passar pelo processo de fundição.....42

Figura 11 - Areia depois de passar pelo processo de fundição.....42

Figura 12 - Resistência à compressão aos 7 dias.....43

Figura 13 - Resistência à compressão aos 28 dias.....43

Figura 14 - Etapas dos ensaios físicos do cimento 45

Figura 15 - Etapas dos ensaios físicos da microssílcia da cinza de casca de arroz 46

Figura 16 - Procedimentos dos ensaios físicos da areia 48

Figura 17 - Fábrica especializada na fundição de ferro e usinagem (Fundimisa) 49

Figura 18 - Ensaios de caracterização da brita 1 50

Figura 19 - Materiais separados para a moldagem 53

Figura 20 - Materiais misturados em betoneira 54

Figura 21 - Realização do Slump Test.....55

Figura 22 - Medida do abatimento do tronco de cone.....55

Figura 23 - Moldagem dos corpos de prova 57

Figura 24 - Corpos de prova expostos à temperatura ambiente 58

Figura 25 - Corpos de prova desmoldados, medidos e numerados para serem levados a câmara úmida 58

Figura 26 - Corpos de prova posicionados na câmara úmida.....59

Figura 27 - Ensaios de Resistência à Compressão 60

Figura 28 - Ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral 61

Figura 29 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade.....62

Figura 30 - Resistência à Compressão do concreto aos 14 dias de idade..... 63

Figura 31 - Resistência à Compressão do concreto aos 21 dias de idade..... 64

Figura 32 - Resistência à Compressão do concreto aos 28 dias de idade..... 64

Figura 33 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade.....66

Figura 34 - Resistência à Compressão do concreto aos 14 dias de idade..... 67

Figura 35 - Resistência à Compressão do concreto aos 21 dias de idade.....69

Figura 36 - Resistência à Compressão do concreto aos 28 dias de idade..... 69

Figura 37 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade..... 71

Figura 38 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade..... 71

Figura 39 - Resistência à Compressão do concreto aos 21dias de idade..... 72

Figura 40 - Resistência à Compressão do concreto aos 28dias de idade..... 73

Figura 41 - Resistência à Compressão do concreto dos três tipos de misturas aos 7 dias de idade 75

Figura 42 - Resistência à Compressão do concreto dos três tipos de misturas aos 28 dias de idade 76

Figura 43 - Resistência à tração por compressão diametral do concreto dos três tipos de misturas aos 28 dias de idade 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de agregados no Brasil.....28

Tabela 2 - Distribuição da quantidade de resíduos sólidos industriais gerados por Classe.....31

Tabela 3 - Tipos e classificações das adições minerais.....33

Tabela 4 - Composição química do cimento CP II-E-32.....45

Tabela 5 - Ensaios físicos de caracterização do cimento e as respectivas normas.....45

Tabela 6 - Características do cimento CP II-E-32.....46

Tabela 7 - Ensaios físicos de caracterização da cinza de casca de arroz e as respectivas normas.....46

Tabela 8 - Características da microssílica da cinza de casca de arroz.....47

Tabela 9 - Características da microssílica da cinza de casca de arroz pela CIENTEC.....47

Tabela 10 - Ensaios físicos de caracterização do agregado miúdo e as respectivas normas....47

Tabela 11 - Características da areia natural.....48

Tabela 12 - Características da areia de fundição.....49

Tabela 13 - Ensaios físicos de caracterização do agregado graúdo e as respectivas normas....49

Tabela 14 - Características físicas do agregado graúdo (brita 1).....50

Tabela 15 - Evolução da resistência à compressão em porcentagem.....65

Tabela 16 - Evolução da resistência à compressão em porcentagem.....70

Tabela 17 - Evolução da resistência à compressão em porcentagem.....74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição dos cimentos Portland comuns e compostos 26

Quadro 2 - Composição dos cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos 26

Quadro 3 - Composições do cimento Portland de alta resistência inicial 26

Quadro 4 - Consumo de materiais por traço para a substituição de areia natural por areia de fundição 52

Quadro 5 - Consumo de materiais por traço para a substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz 53

Quadro 6 - Consumo de materiais por traço para a substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz e substituição da areia natural por areia de fundição 53

Quadro 7 - Valores do abatimento do tronco de cone (Slump Test) e fator a/c final para a substituição da areia natural pela areia de fundição no concreto 56

Quadro 8 - Valores do abatimento do tronco de cone (Slump Test) e fator a/c final para a substituição de cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz no concreto 56

Quadro 9 - Valores do abatimento do tronco de cone (Slump Test) e fator a/c final para a substituição da areia natural pela areia de fundição e do cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz no concreto 57

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

#	Abertura da malha da peneira
a/ag	Relação água aglomerante em massa
a/c	Relação água cimento em massa
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
ASTM	American Society for Testing Material
CA	Casca de Arroz
CCA	Cinza de Casca de Arroz
CO_2	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
C4AF	Ferroaluminato
C3S	Silicato Tricálcico
C2S	Silicato Bicálcico
C3A	Aluminato Cálcico
FIHP	Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto

IRG	Instituto Rio-Grandense de Arroz
ISRM	International Society for Rock Mechanics
Kg	Quilograma
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
MEV	Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura
Mpa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Normalização do Mercosul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNIJUI	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
2 REVISÃO DA LITERATURA 23
2.1 CONCRETO 23
2.1.1 Considerações sobre o cimento Portland 24
2.1.2 Materiais constituintes 25
2.1.3 Resistência do concreto 29
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS 29
2.3 ADIÇÕES MINERIAS 32
2.3.1 Casca de arroz (CA) 34
2.3.2 Cinza da casca de arroz (CCA) 34
2.3.3 Estudos com microssílica de cinza de casca de arroz em concretos 36
2.4 AREIA DE FUNDIÇÃO 39
2.4.1 Processo de fundição 40
2.4.2 Estudos com areia de fundição em concretos 42
3 METODOLOGIA 44
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA 44
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA 44
3.3.1 Cimento 44
3.3.2 Cinza de casca de arroz 46
3.3.3 Areia média (natural) 47
3.3.4 Areia de fundição 48
3.3.5 Brita 1 49
3.3.6 Água 50
3.4 MÉTODO DE DOSAGEM E MISTURAS 50
3.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão 59
3.4.2 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral 60
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 62
4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PELA CINZA DA CASCA DE ARROZ 62

4.1.1 Apresentação em percentuais da evolução das resistências à compressão do concreto com cinza de casca de arroz 65

4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO 66

4.2.1 Apresentação em percentuais da evolução das resistências à compressão do concreto com areia de fundição 69

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO COM SUBSTIUTIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO E COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR CINZA DE CASCA DE ARROZ 70

4.3.1 Apresentação em percentuais da evolução das resistências à compressão do concreto com areia de fundição e cinza de casca de arroz 73

4.4 COMPARAÇÕES DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO 74

4.5 RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO CONCRETO 77

5 CONCLUSÃO 79

5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 79

5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 80

5.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS 81

REFERÊNCIAS 82

APÊNDICE A 87

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais os cuidados com o meio ambiente devem ser intensificados, sendo que uma das alternativas que vem trazendo grande contribuição é a utilização de resíduos que podem melhorar as propriedades do concreto e consequentemente auxiliar em relação à sustentabilidade, ao invés de descartá-los de forma inadequada (KELM, 2011).

De acordo com Metha (1994), a estimativa do consumo mundial de concreto é de 5,5 bilhões de toneladas por ano, e consequentemente a indústria de concreto é a maior consumidora das reservas naturais, necessitando assim incorporar tecnologias para reduzir os problemas ambientais gerados por ela.

No Estado do Rio Grande do Sul, a economia está fortemente acoplada às atividades desenvolvidas na agricultura. Entre elas a produção de grande volume de arroz, o que acaba gerando uma enorme quantidade de resíduos sólidos derivados das atividades de processamento e beneficiamento, identificados como casca de arroz e cinzas resultantes dessa casca. Entretanto esses resíduos são classificados como grandes responsáveis pela poluição e contaminação, e quando não gerenciados e destinados adequadamente causam sérios impactos ao meio ambiente e a saúde das pessoas (IRGA, 2013).

Devido às consequências geradas pelo grande número de resíduos sólidos, surgiram vários estudos sobre a reutilização dos mesmos no concreto, sendo que a viabilidade da substituição parcial da cinza de casca de arroz (CCA) em concretos já foi comprovada, através de resultados satisfatórios como: aumento da resistência à compressão, maior durabilidade do concreto, economia de cimento. Nesse contexto a utilização da CCA torna-se uma das soluções para o problema ambiental ocasionado pela deposição desse resíduo, reduzindo as áreas necessárias para descarte agroindustrial e minimizando os riscos de poluição ao meio ambiente (POUEY, 2006).

Outros resíduos sólidos que também causam preocupações relacionam-se as indústrias de fundição. Resíduos que são constituídos principalmente pelas chamadas areias residuais ou areias de fundição.

Quando as areias no processo de fundição tornam-se inutilizáveis, os resíduos devem ser descartados e depositados em aterros, seguindo todas as normas estabelecidas pelas

licenças da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Esses aterros requerem muitos cuidados e monitoramentos, caso contrário geram inúmeros problemas ambientais, por causa do grande volume de resíduos e principalmente em relação ao custo das empresas com manutenção e construção de novas valas. Como solução para o grande volume dessas areias, torna-se necessário um gerenciamento adequado visando alternativas de reutilização (LIMA, 2014).

No entanto, entre os diversos estudos e também com os avanços tecnológicos, percebemos que a área da construção civil tem a capacidade de proporcionar uma solução para os descartes de resíduos gerados nesse âmbito, tanto cinza de casca de arroz como areias de fundição, com a possibilidade de incluí-los na área da construção civil, como materiais de construção. E assim, tornando possível a redução do custo dos produtos e principalmente a diminuição da emissão de resíduos ao meio ambiente.

Levando em consideração esses aspectos, a presente pesquisa baseou-se no estudo da possibilidade da reutilização de microssílica da cinza de casca de arroz e da areia de fundição em concretos de cimento Portland.

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e areia de fundição, nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% de substituição, primeiro em misturas separadas e em seguida com os dois resíduos na mesma mistura de concreto. Para tentar proporcionar uma solução técnica e economicamente viável por meio da reutilização desses resíduos.

Foram realizados os ensaios de dosagem do concreto dos diferentes traços pelo método de dosagem da ABCP. E analisadas às propriedades de Resistência à Compressão e Resistência à Tração por Compressão Diametral das diferentes substituições, do cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz e da areia natural pela areia de fundição.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa serão apresentados conceitos obtidos através de estudos realizados sobre trabalhos que se relacionam de maneira análoga ao objetivo do trabalho proposto.

2.1 CONCRETO

Segundo a Revista Concreto & Construções (2009), que foi elaborada pelo Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, o concreto é um material construtivo vastamente difundido. Encontrado em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios, em torres, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, entre outros lugares.

De acordo com Yazigi (2009), o principal aglomerante utilizado na mistura do concreto é o cimento, que entrando em contato com a água produz exotérmicas de cristalização de produtos hidratados, adquirindo resistência mecânica.

Salgado (2009), menciona que os materiais constituintes do concreto em maior volume são os agregados, classificados como agregado miúdo e graúdo, e por isso é importante escolher agregados de qualidade para gerar um bom desempenho na produção do concreto, tanto na produção de mistura por meio de central dosadora ou manual.

A estimativa de consumo por ano é de 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água.

De acordo com Inês Battagin, superintendente do CB-18 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) descrito na Revista Concreto & Construção (2009), o concreto se constitui como uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento. A Autora também menciona que, o concreto é um material que possibilita a execução de estruturas nas mais variadas formas e diversos tipos de ambientes, pois além de apresentar durabilidade, ele também possui a propriedade de suportar esforços.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o concreto se classifica segundo a massa específica em:

- Concreto leve (massa específica é inferior a 1800 Kg/m³);
- Concreto normal ou concreto convencional (massa específica entre 2300 e 2400 Kg/m³);
- Concreto pesado (massa específica superior a 3200 Kg/m³).

Segundo Isaia (2005), inúmeras técnicas executivas e composições de traços são conhecidas e estudadas, para que suas aplicações sejam ajustadas em termos técnicos, econômicos e sociais, atentando-se ao uso de recursos finitos e à diminuição da poluição. Com o passar do tempo, e com os avanços das tecnologias e materiais, tornou-se mais ampla a utilização de diferentes materiais que podem fazer parte da composição do concreto, levando os pesquisadores a estudar alternativas de aliar a durabilidade à sustentabilidade.

2.1.1 Considerações sobre o cimento Portland

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o cimento pode ser descrito como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Quando na forma de concreto, ele pode ganhar diferentes formatos e volumes, dependendo da sua utilidade nos diversos tipos de obras.

Segundo Mehta (1999) um dos principais componentes entre os materiais que fazem parte da constituição do concreto está o cimento Portland, devido a sua utilização ser de quantidade considerável em todos os lugares, este vem causando sérias preocupações a população, pois durante o processo de produção do cimento são emitidos elementos que causam alterações indesejáveis ao meio ambiente. Sendo que a fabricação do cimento contribui com aproximadamente 5% da quantidade de CO_2 (dióxido de carbono) emitidas anualmente na atmosfera.

De acordo com a ABCP, analisando-se desde os anos de 1990, em 2008 o Brasil exibiu a menor taxa de emissão de CO_2 por tonelada de cimento (560 kg de CO_2 por tonelada de cimento).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) o concreto de cimento Portland é o material manufaturado mais consumido no mundo. Levando em consideração esse e os demais aspectos, é de grande importância estudos de materiais alternativos que possam substituir parcialmente o cimento em uma mistura de concreto, com o objetivo de preservar o meio ambiente e torná-lo mais viável economicamente.

2.1.2 Materiais constituintes

- **Cimento Portland**

Cimento Portland é o nome dado ao material mundialmente conhecido e de extrema importância na construção civil.

A Norma NBR 11578/1997 define o cimento Portland composto como:

> Aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto- forno e/ou materiais carbonáticos.

De acordo com o Guia Básico de Utilização do Cimento Portland da ABCP (2002), o cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin era parecido na cor e dureza a essa pedra de Portland, ele escreveu esse nome em sua patente, que ficou conhecido como cimento Portland.

Segundo o Guia Básico de Utilização do Cimento Portland da ABCP (2002), a fabricação de cimento depende dos principais materiais: calcário, argila, minério de ferro e gesso. No decorrer do processo de fabricação, é feita a análise dos materiais várias vezes, com o proposito de alcançar a composição química desejada. O Quadro 1 mostra a composição química dos cimentos Portland comuns e compostos.

Quadro 1 - Composição dos cimentos Portland comuns e compostos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolâ-nico (sigla Z)	Material carboná-tico (sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5			
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: Guia básico de utilização do cimento Portland, 2002.

Os Quadros 2 e 3 apresentam as composições dos cimentos portland de alto-forno e pozolânicos e as composições do cimento portland de alta resistência inicial, respectivamente.

Quadro 2 - Composição dos cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolâ-nico	Material carboná-tico	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: Guia básico de utilização do cimento Portland, 2002.

Quadro 3 - Composições do cimento Portland de alta resistência inicial

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material carbonático	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte: Guia básico de utilização do cimento Portland, 2002.

A Revista Concreto & Construções (2009) classifica os diferentes tipos de cimento Portland como:

Cimento Portland Comum (CP I): É utilizado para controlar a pega (tempo necessário para o endurecimento parcial do composto). É aconselhado para construções de concreto em geral, quando não forem exigidas propriedades especiais do cimento.

Cimento Portland Composto (CP II): Satisfaz inteiramente às necessidades da maioria das aplicações usuais, apresentando, em muitos casos, vantagens adicionais.

Cimento Portland de Alto -Forno (CP III): Apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão e a sulfatos (reações álcali-agregado), este cimento é proveitoso em obras de concretomassa, tais como a construção de barragens.

Cimento Portland Pozolânico (CP IV): Indicado para obras expostas à ação de água corrente e para ambientes agressivos devido às propriedades de baixa permeabilidade, alta durabilidade, alta resistência à compressão a idades avançadas.

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI): Atinge altas resistências nos primeiros dias de aplicação, é usado na fabricação de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, de tubos, lajes, meio-fio, mourões, postos e de elementos arquitetônicos pré-moldados, que necessitam de um cimento de elevada resistência inicial para a rápida desforma.

- **Agregados minerais**

Bauer (2000) define agregado como material particulado, de atividade química praticamente nula, composto de misturas de partículas cobrindo extensa série de tamanhos. Sendo que os agregados miúdos e graúdos encontram-se na natureza em quantidades consideráveis e apresentam baixo valor unitário, em que seu consumo compõe um importante apontador do perfil socioeconômico de um país.

De acordo com o Manual de Agregados para Construção Civil (2009), as substâncias minerais mais consumidas na indústria da construção civil são os agregados, e também as mais significativas em relação à quantidade consumida no mundo.

Segundo a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo (FIPE), disponibilizados no site da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), o consumo médio de agregados no Brasil está apresentado na Tabela 1:

Tabela 1 - Quantidade de agregados no Brasil

Unidades de Auto-construção de até 35 m²	*21 t de agregados*
Habitações populares de 50 m²	*68 t de agregados;*
Manutenção de vias municipais	*100 t/km*
Estradas	*3 mil t/km*
Pavimentação urbana	*varia de 0,116 m^3/m^2 a 0,326 m^3/m^2*
Escola de 1.200 m^2	*1000 m^3 de agregados (1.680 t)*

Fonte: Adaptado de ANEPAC. Elaboração Inventta.

Segundo Collins e Fox (1985), a classificação de agregados deve levar em consideração as seguintes informações: a origem do material (agregados naturais ou artificiais), a classe ou nome petrográfico, além de idade da rocha, cor, granulometria e fissilidade.

Segundo Helene (1992) e Bauer (2000), os agregados se classificam de acordo com:

a) A origem:

- Naturais: Agregados que estão em forma particulada na natureza, como: areia e cascalho;
- Industrializados: Agregados onde sua composição foi alcançada por processos industriais, neste contexto, a matéria-prima pode ser: rocha, escória de alto forno.

b) A dimensão das partículas:

- Agregado Miúdo: são as areias;
- Agregado Graúdo: são os cascalhos e as britas.

A norma NBR 7211 (2009) descreve as características dos agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas, como:

> A areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. E define agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

2.1.3 Resistência do concreto

Mehta & Monteiro (1994) definem que o fator responsável pela capacidade de um material suportar a tensão sem ruptura é a resistência. No concreto, a resistência está relacionada com a tensão requerida para causar a fratura e é semelhante ao grau de ruptura no qual a tensão aplicada obtém seu valor máximo.

Segundo Helene & Terzian (1992), a resistência à compressão é a característica do concreto que melhor o qualifica, mas para isso é necessário que a dosagem e preparação sejam levadas em consideração, bem como as propriedades de durabilidade e trabalhabilidade.

De acordo com Kelm (2011), a resistência do concreto é obtida a partir da hidratação do cimento, sendo um processo bastante lento. Na maioria das vezes os ensaios de resistência do concreto são realizados através da moldagem de corpos de prova, curados em condições específicas de temperatura e umidade, e rompidos para obter o resultado da resistência à compressão após 28 dias de idade.

Mehta e Monteiro (1994) classificam o concreto pela sua resistência à compressão, como:

- Concreto de baixa resistência (resistência à compressão menor que 20 Mpa);
- Concreto de resistência moderada (resistência à compressão entre 20 e 40 Mpa);
- Concreto de alta resistência (resistência superior a 40 Mpa).

Para Neville (1997), mesmo que o concreto não seja projetado para resistir à tração, realizar esse ensaio é importante, pois se pode estimar a carga a qual ocorrerá à fissuração. Sendo que a ausência de fissuras é necessária para a conservação de uma estrutura de concreto, e também para evitar a corrosão das armaduras.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme a NBR 10004 (2004), são resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, os que derivam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Apesar da indústria de fundição consumir sucatas metálicas como matéria prima, ela origina grandes quantidades de resíduos sólidos, entre os quais escórias, areia de moldagem e poeiras diversas (DANTAS, 2003).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), as areias de fundição representam atualmente um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção no Brasil. Quando esses resíduos não são descartados corretamente podem acarretar sérios problemas ambientais.

Segundo a NBR 10004 (2004), os resíduos são classificados em:

a) Resíduos Classe I – Perigosos: Podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, devido as suas propriedades físico-químicas e infectocontagiosas. São considerados perigosos os que apresentam ao menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os resíduos que recebem esta classificação requerem cuidados especiais de destinação.

b) Resíduos Classe II – Não Perigosos: não apresentam nenhuma das características acima, podem ainda ser classificados em dois subtipos:

Classe II A – Não Inertes: são aqueles que não se enquadram no item anterior, Classe I, nem no próximo item, Classe II B. Geralmente apresenta alguma dessas características: biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.

Classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que submetidos a um contato estático ou dinâmico com água, não tenham nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade de água, com exceção da cor, turbidez, dureza e sabor.

De acordo com Lima (2014), através de ensaios de lixiviação, que são procedimentos utilizados para analisar a potencialidade de transferência de materiais para o meio natural, pode-se classificar a areia de fundição como um **Resíduo não perigoso de Classe II,** sendo que nenhum elemento químico ultrapassou os valores permitidos pela NBR 10004 (2004).

A FEPAM (2003) apresentou os dados sobre a geração e a destinação de resíduos perigosos (Classe I) e resíduos não inertes ou não perigosos (Classe II), das indústrias localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram coletados durante o ano de 2002

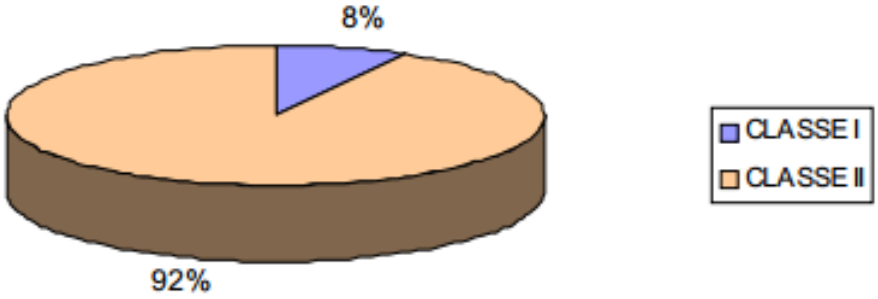
e demonstram a potencialidade da geração dos resíduos sólidos industriais. Em que a Tabela 2 e a figura 1 demonstram a quantidade de resíduos sólidos industriais gerados por Classe de resíduo, ou seja, resíduos Classe I ou perigosos e resíduos Classe II ou não perigosos (não inertes).

Tabela 2 - Distribuição da quantidade de resíduos sólidos industriais gerados por Classe

CLASSE DO RESIDUO	QUANTIDADE INFORMADA ATRAVÉS DO INVENTÁRIO	QUANTIDADE INFORMADA ATRAVÉS DAS PLANILHAS	TOTAL EM t/ANO
Classe I	182.170	7.033	189.203
Classe II	946.900	1.227.782	2.174.682
Total	1.129.070	1.234.816	2.363.886

Fonte: Fepam, 2003

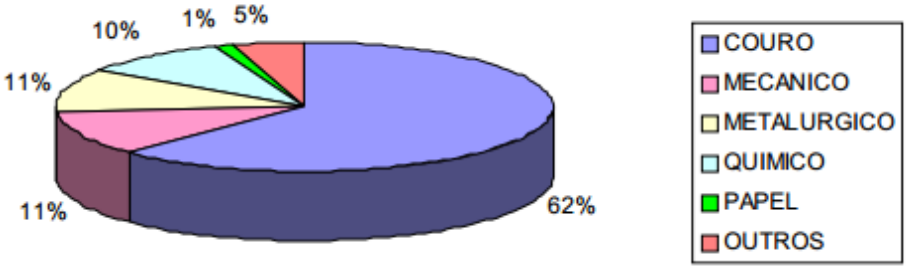
Figura 1 - Geração de Resíduo Sólido Industrial por Classe



Fonte: Fepam, 2003

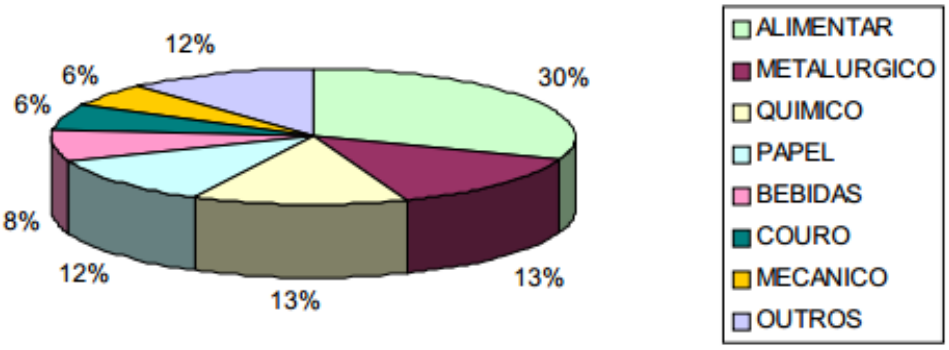
As Figuras 2 e 3 apresentam a quantidade de resíduos sólidos industriais perigosos, Classe I e a quantidade de resíduos sólidos industriais não perigosos, Classe II, respectivamente, que são gerados por setor industrial.

Figura 2 - Geração de Resíduo Sólido Industrial Classe I por setor industrial



Fonte: Fepam, 2003

Figura 3 - Geração de Resíduo Sólido Industrial Classe II por setor industrial



Fonte: Fepam, 2003

De acordo com dados da ABIFA (2015), um dos maiores resíduos sólidos industriais que são produzidos em grande quantidade no Brasil são as areias de fundição. O que leva a importantes estudos em relação à reutilização desses resíduos em misturas de concreto, principalmente pelo enorme volume gerado e as consequências trazidas para os seres humanos.

2.3 ADIÇÕES MINERIAS

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), as adições minerais são os materiais silicosos, finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidades consideráveis, na maioria das vezes na faixa de 20 a 100% de massa de cimento Portland.

Metha e Monteiro (2008) citam que as adições minerais proporcionam efeitos favoráveis ao concreto, principalmente através da redução da porosidade das pastas e refinamento dos grãos de hidróxido de cálcio. A alteração da microestrutura, gerada a partir da diminuição da porosidade, ocasiona um aumento da compacidade, dificultando o acesso de agentes agressivos ao interior do concreto. Metha e Monteiro (2008) também apresentam os tipos de adições minerais e suas classificações através da Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos e classificações das adições minerais

Classificação	Tipos de Adições
Cimentantes	Escória granulada de alto forno
Cimentantes e Pozolânicas	Cinzas volantes com alto teor de cálcio
Superpozolanas	Sílica ativa Metacaulim Cinza de casca de arroz
Pozolanas comuns	Cinzas volantes com baixo teor de cálcio Argilas calcinadas Materiais naturais (origem vulcânica e sedimentar)
Pozolanas pouco reativas	Escória de alto forno resfriada lentamente Cinzas de forno Escória de caldeira Palha de arroz queimada em campo
Adições inertes (filler)	Pó de cálcio, pó de pedra

Fonte: Mehta e Monteiro, 2008

Isaia (1995) afirma que a pozolanicidade e a finura são as principais propriedades que interferem no desempenho das adições minerais, bem como as quantidades de pozolana e sua composição granulométrica.

De acordo com Sokolovicz (2013), as pozolanas classificam-se como naturais (origem vulcânica) e artificiais, que são derivadas de calcinação de rochas, resíduos da queima do carvão e resíduos agroindustriais, como a cinza volante e a cinza de casca de arroz.

Inúmeras pesquisas apontam que é permitido o emprego de diferentes adições minerais, em diversos teores e combinações, gerando novas misturas de concreto.

Para Neville (1997), a aplicação das adições minerais no concreto justifica-se pelas vantagens técnicas, além das vantagens energéticas e ambientais. Em meio a essas adições estão as pozolanas, como a cinza de casca de arroz, que é um resíduo agroindustrial produzido pela queima da casca do arroz, que é utilizada como fonte de energia no beneficiamento do grão.

As adições minerais podem ser introduzidas no concreto, de acordo com Frizzo (2001) por substituição parcial do cimento, por adição, aumentando a quantidade de material

aglomerante, ou como agregado miúdo. Mas para que as adições minerais possam ser introduzidas ao concreto elas devem satisfazer alguns requisitos, tais como: ter finura, granulometria apropriada, e ainda serem conhecidas as suas características físicas e químicas.

2.3.1 Casca de arroz (CA)

A casca de arroz é um resíduo removido durante o processo de refinamento do grão de arroz, e originada através do rejeito agrícola. Um dos grandes problemas para os produtores de arroz é o armazenamento do resíduo gerado, devido ao seu baixo valor comercial ou interesse em utilizá-lo na agricultura (GONÇALVEZ, 2009).

Segundo Houston (1972), aproximadamente 20% do peso do grão é CA, sendo o maior subproduto da produção de grãos. As cascas são constituídas de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de resíduos orgânicos. A Figura 4 ilustra a casca de arroz.

Figura 4 - Casca de arroz

Fonte: Universoagro (2013)

2.3.2 Cinza da casca de arroz (CCA)

De acordo com Milani (2008), a CCA é gerada por meio da queima da casca de arroz, tendo origem através de fornalhas, queima a céu aberto, e ainda, em fornos que permitem o controle da temperatura.

Segundo Mehta & Monteiro (1994), cada tonelada de arroz em casca produz cerca de 200 kg de casca, que por combustão formam 40 kg de cinza. Por serem geradas quantidades consideráveis desse resíduo em vários lugares do país, é de extrema importância estudos e

pesquisas em relação à reutilização dos mesmos, tanto na área da construção civil como nas demais áreas.

Vários estudos a respeito da utilização da cinza da casca de arroz como substituição parcial em concretos comprovam que é viável e traz resultados positivos. Segundo Kelm (2011), a utilização da CCA surge como uma das soluções para a deposição deste material, que vem causando sérios problemas ambientais, pois diminui as áreas necessárias para descarte deste resíduo agroindustrial e também minimiza os riscos de poluição ao meio ambiente.

Segundo Mehta (1992) apud Missau (2004), a cinza de casca de arroz é classificada como uma pozolana altamente reativa, e constituída principalmente de sílica na forma não cristalina.

O termo pozolana, segundo a NBR 12653 (2015), é definido como um material que possui pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando finamente dividido e na presença de água, reage com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, para formar compostos de propriedades aglomerantes.

De acordo com Guedert (1989), a sílica contida na amostra é influenciada pela temperatura em que ocorre a queima da CA. Para que tenha o máximo de reatividade, a temperatura deve ocorrer de forma controlada, com temperaturas entre 300 a 800 graus Celsius.

De acordo com Tashima (2006), não importa qual seja o processo de queima da casca de arroz, a cinza que resulta possui um teor de sílica em torno de 74% a 97%. Em que o tipo de queima influi principalmente na morfologia da sílica presente na cinza. Sendo que o aparecimento da sílica em estado amorfo (mais reativa) ou em estado cristalina depende da temperatura que é atingida durante a queima.

Segundo Santos (1997), levando em consideração que o volume de cinza de casca de arroz é produzida em grandes quantidades, as empresas não possuem lugares adequados para descartar estes resíduos, e acabam jogando-os em lugares impróprios, como mostra a Figura 5, em que ela é depositada ao lado de uma rodovia.

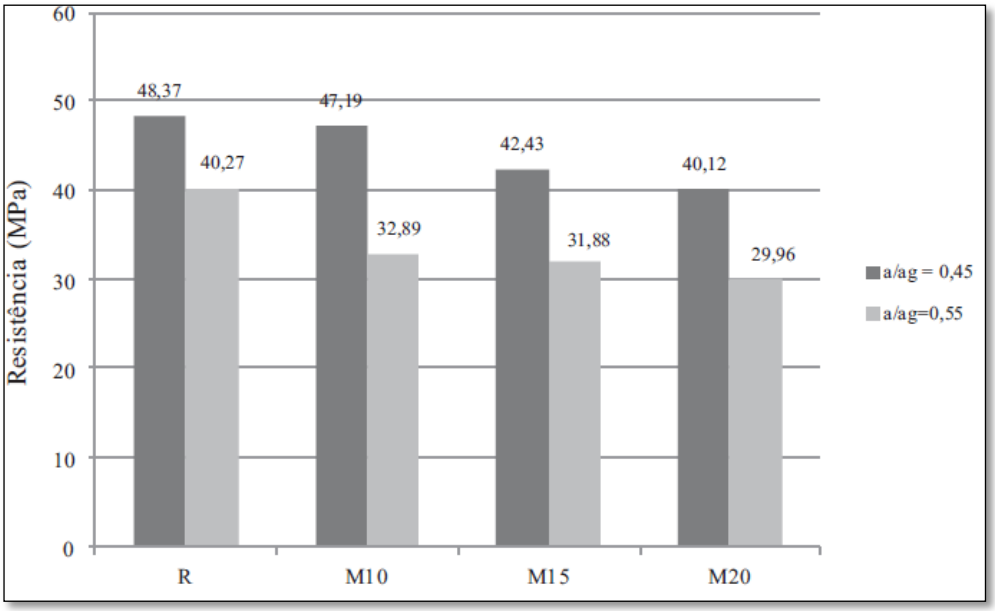
Figura 5 - Cinza de casca de arroz descartada de maneira inadequada

Fonte: SANTOS, S. (1997)

2.3.3 Estudos com microssílica de cinza de casca de arroz em concretos

Os estudos sobre a microssílcia de cinza de casca de arroz realizados por Kelm (2011), apresentam que, com a utilização de dois fatores a/ag, na idade de 7 dias do concreto, a resistência a compressão em todos os traços é menor do que o traço referência, moldado sem adições, como mostra a Figura 6.

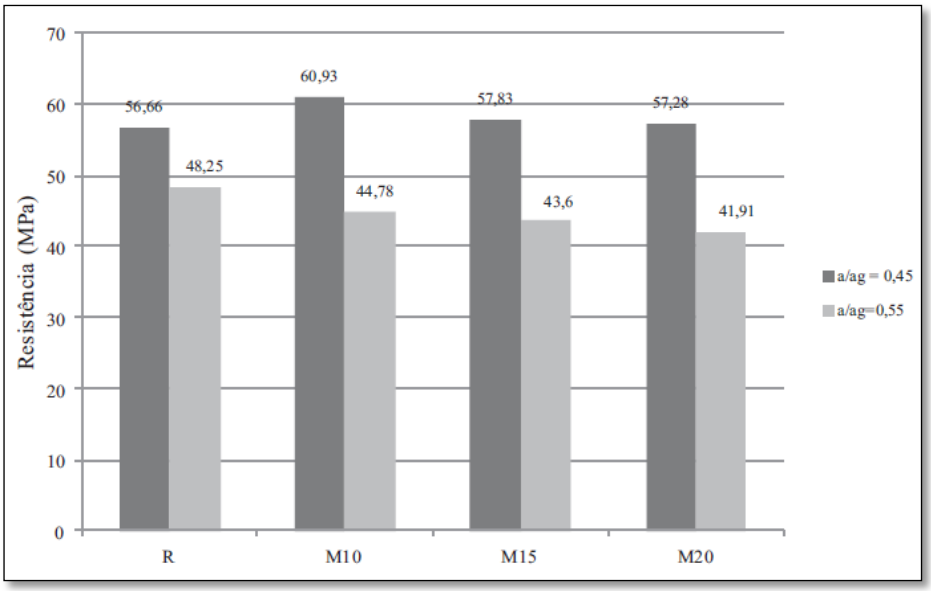
Figura 6 - Resistência à compressão aos 7 dias



Fonte: Kelm, 2011

Ainda conforme Kelm (2011), com idade de 28 dias, a resistência a compressão do concreto teve aumento comparando-se aos 7 dias de idade, sendo que todos os traços com fator a/ag igual 0,45 ultrapassaram os valores de resistência do traço referência, como desmostra a Figura 7.

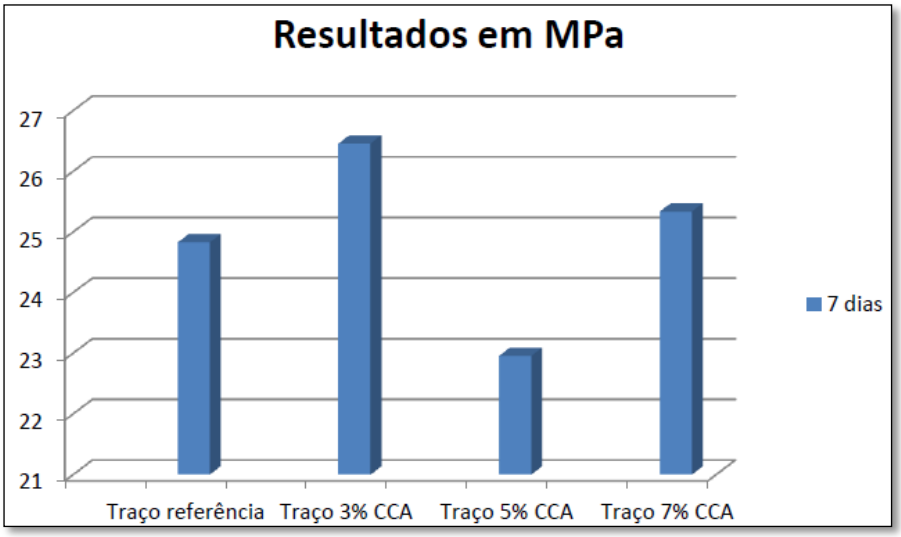
Figura 7 - Resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Kelm, 2011

Ludwing (2014) apresentou em suas pesquisas, com substituição de cimento por microssilica da cinza de casca de arroz, que na idade de 7 dias, o concreto com substituição de 3% e 7% obteve resistências maiores do que o traço referência, e apenas o traço com 5% de substituição apresentou resistência menor, como mostra a Figura 8.

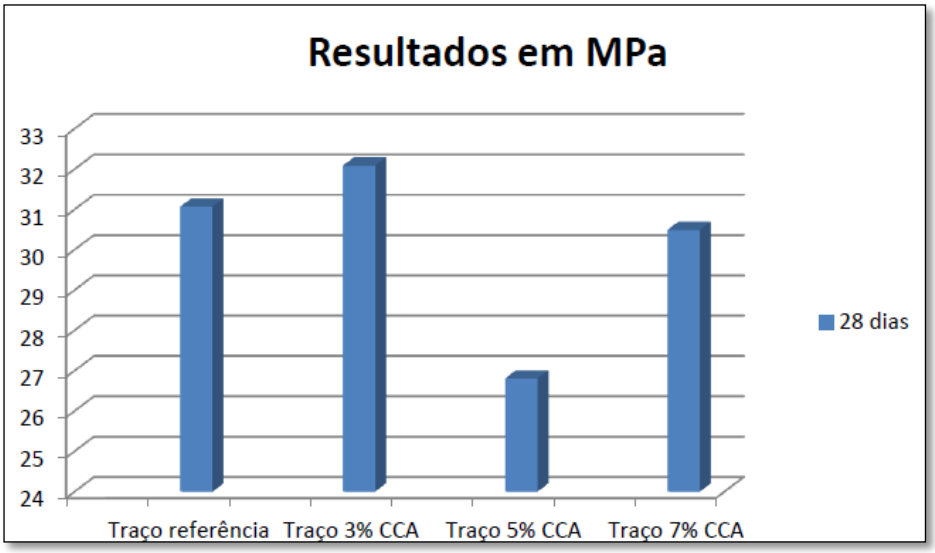
Figura 8 - Resistência do concreto aos 7 dias



Fonte: Ludwing, 2014

Após 28 dias de idade, de acordo com Ludwing (2014), a resitência do concreto com susbstituição de 3% de microssilica de cinza de casca de arroz apresentou maior resistência comparando-se ao traço de concreto sem substituição de resíduos, já os traços com 5% e 7% de substituição apresentaram resistências menores, como pode ser analisado na Figura 9.

Figura 9 - Resistência do concreto aos 28 dias



Fonte: Ludwing, 2014

Ludwing (2014), concluiu através dos resultados de resistência a compressão com substituição de 3% de cimento pela microssilica da cinza de casca de arroz, que essa mistura

pode ser reconhecida pelo mercado da construção civil, já que a resistência supera o concreto moldado sem adição de resíduo.

2.4 AREIA DE FUNDIÇÃO

Um dos subprodutos da indústria de fundição é a areia de fundição de materiais ferrosos e não ferrosos. A areia de sílica é utilizada na confecção de moldes, machos e núcleos para a fabricação de peças de metal, sendo reciclada e reutilizada inúmeras vezes no decorrer dos processos. Quando a areia estiver em um estágio inservível para o processo de fundição, ela passa a ser descartada e denominada “areia de fundição” (SIDDIQUE; SINGH, 2011).

Conforme Scheunemann (2005), o principal resíduo gerado nas etapas de desmoldagem de peças metálicas no processo de fundição é a areia de fundição. Sendo através dos métodos de fabricação mais versáteis e aos formatos e tamanhos das peças metálicas, que as indústrias de fundição ganham maior atenção em relação às demais.

As características físicas e químicas da areia de fundição dependem do tipo de processo de fundição a que são anteriormente submetidas (SIDDIQUE; SINGH, 2011).

Segundo a NBR 10004 (2004), a areia de fundição, que é utilizada para confecção de moldes de peças metálicas, é classificada como resíduo não perigoso, porém, dependendo de cada situação ou processo, pode apresentar alguns poluentes, como: metais (ferro, alumínio, níquel, cromo, chumbo, zinco, etc.) e resinas fenólicas, que podem afetar o ambiente quando destinado ou manuseado de forma inadequada.

Matos e Schalch (1997) definem que a primeira etapa para iniciar o processo de moldagem é preparar a areia de moldagem, que é formada pela areia base, areia residual, reciclados e aditivos, que são colocados em um misturador. Através dessa areia de moldagem são preparados os moldes, momento em que também são colocados os machos, que são constituídos pelos mesmos materiais dos moldes, e responsáveis por gerar furos e reentrâncias nas peças metálicas que serão produzidas. Em seguida, após serem produzidos os moldes e os machos, ocorre a fusão do metal e o preenchimento dos moldes através do vazamento do metal fundido. E na última etapa é feita a desmoldagem e o acabamento das peças.

De acordo com Peixoto (2003), após ser reutilizada inúmeras vezes no processo de fundição, a areia passa a acumular materiais contaminantes, como: resinas, carvões e demais substâncias, que podem vir a prejudicar a qualidade dos moldes. Para que isso não ocorra é necessário que durante o processo de moldagem se faça a substituição das areias residuais por areias novas. E essas areias que não podem ser mais utilizadas são descartadas e passam a ser chamadas de areia de fundição.

Um dos grandes problemas que as fundidoras enfrentam, citado por Lopes (2009), está relacionado com o descarte das areias de fundição, pois sendo destinadas aos aterros, elas acabam se misturando com outros resíduos que são geralmente mais contaminantes, gerando riscos as empresas de fundição, que são responsabilizadas pelos danos ambientais causados.

2.4.1 Processo de fundição

Gossen (2005) relata a descrição de todos os processos de fundição utilizados para a confecção das peças:

- Modelação: é o início do processo, em que se confecciona um molde da peça a ser produzida e ele é utilizado na produção dos demais moldes. Quando utilizada areia ligada com argila (areia verde), até atingir a dureza desejada a areia é comprimida em torno do molde. E quando usado ligantes químicos, após uma leve compactação mecânica o molde é quimicamente endurecido.

- Fusão: é onde se inicia a produção da peça fundida. E é nesse processo que ocorre a geração de resíduos como: escórias dos fornos, pós do sistema de exaustão dos fornos, sucatas metálicas impróprias para o processo e pós de matérias-primas.

- Macharia: é nesta etapa em que são fabricados os núcleos de areia, conhecidos como “machos”. Esses machos são compostos de areia de lingotes, que possuem resistência e dureza suficientes para serem fixados dentro do molde.

- Desmoldagem: o processo de desmoldagem começa após o resfriamento da peça. É uma etapa em que se deve quebrar o molde para retirar o componente fundido. Gerando resíduos como: respingos de ferro, areia de moldagem, finos de areia, restos de machos.

- Quebra de canais: ocorre a quebra do sistema de alimentação da peça fundida. Os resíduos gerados são: sucatas e areias de moldagem.

- Acabamentos: processo em que são cortados os canais e realizados os acabamentos através de rebolos rotativos e de outras ferramentas que objetivam melhorar o aspecto visual.

- Tratamento térmico: esta etapa serve para que a estrutura do material fique conforme a sua especificação. Este tratamento objetiva melhorar a resistência mecânica e corrosiva dos materiais.

- Oleação/Pintura: através da pintura ou por óleo, que se busca proteger a peça fundida.

Através das Figuras 10 e 11 podem-se observar as areias antes e depois dos processos de fundição.

Figura 10 - Areia natural antes de passar pelo processo de fundição

Fonte: Site Albrecht (2013)

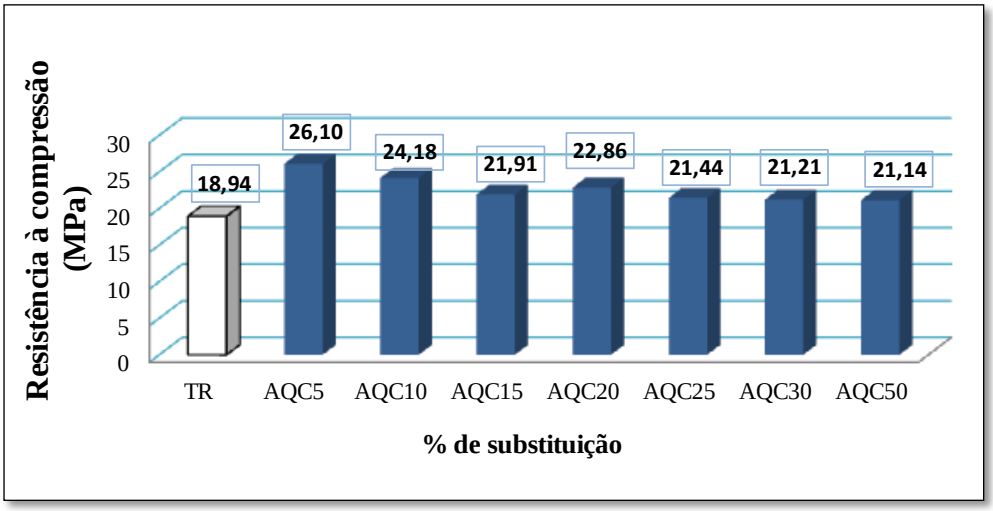
Figura 11 - Areia depois de passar pelo processo de fundição

Fonte: Site Albrecht (2013)

2.4.2 Estudos com areia de fundição em concretos

Estudos realizados por Lima (2014), com a substituição da areia natural pela areia de fundição, apontam que todos os traços moldados com substituição do resíduo apresentam resistências superiores ao traço referência, aos 7 dias de idade do concreto, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Resistência à compressão aos 7 dias

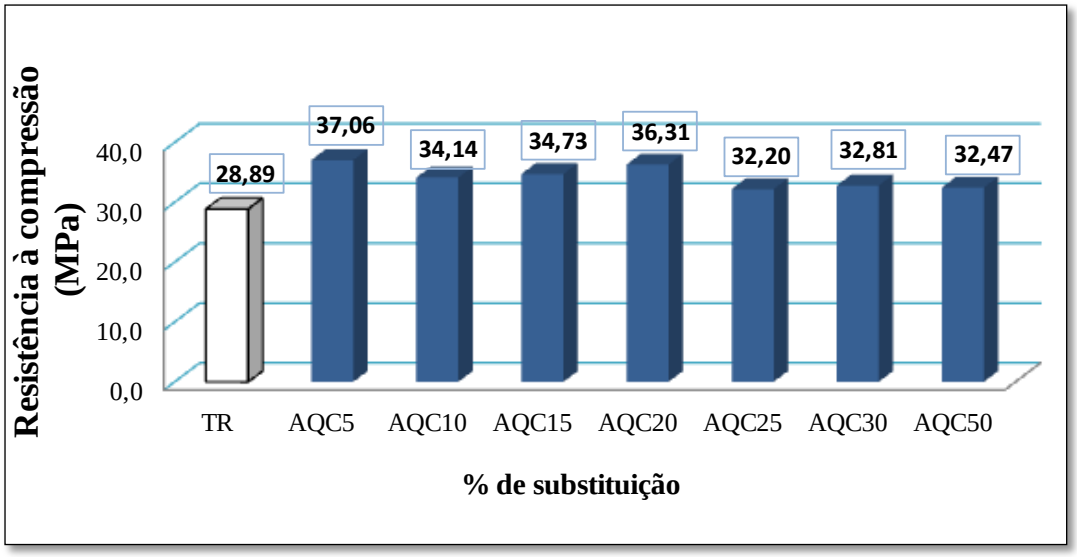


Fonte: Lima, 2014

Com um tempo maior de cura, Lima (2014) apresentou aos 28 dias de idade do concreto, valores de resistência à compressão ainda maiores que aos 7 dias, como mostra a

figura 13. Este aumento de resistência pode ter ocorrido devido a areia de fundição preencher melhor os vazios do concreto, pois esta areia é mais fina que a areia natural.

Figura 13 - Resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Lima, 2014

Lima (2014) enfatiza em sua pesquisa, que a areia de fundição apresenta grãos mais finos que a areia natural, motivo pelo qual preenche melhor os vazios do concreto, contribuindo para a melhor hidratação e aumento da resistência do mesmo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta as etapas realizadas desde a obtenção dos materiais para a pesquisa, até os ensaios, normas e resultados de caracterização dos mesmos.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, e em relação aos procedimentos é uma pesquisa quantitativa, desenvolvida através de ensaios laboratoriais.

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Primeiramente realizaram-se pesquisas e estudos para o melhor entendimento do assunto em questão, desenvolvendo-se a fundamentação teórica. A segunda etapa baseou-se na aquisição dos materiais, como: areia média, areia de fundição, cimento, cinza de casca de arroz e brita 1. Depois da preparação desses materiais executou-se a caracterização dos mesmos, sendo um dos principais procedimentos para a obtenção do traço de dosagem do concreto.

Foram estudados diferentes traços de dosagem, entre eles o traço referência, sem substituição de resíduos, e os traços com diferentes porcentagens de substituição parcial, do cimento por cinza da casca de arroz e de areia natural por areia de fundição, em misturas separadas e também em uma única mistura de concreto. A partir dos resultados obtidos analisou-se a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral do concreto, obtendo-se conclusões a respeito da adição desses resíduos ao concreto.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.3.1 Cimento

O tipo de cimento utilizado foi o CP II-E-32, por ser um cimento sem adição pozolânica em sua composição e também por ser possível o seu uso em diversos tipo e etapas de obras.

Dependendo da mistura utilizada, a composição do cimento Portland pode variar. A Tabela 4 mostra a composição química deste cimento de acordo com a InterCement (2015).

Tabela 4 - Composição química do cimento CP II-E-32

COMPONENTES QUÍMICOS	FAIXA DE CONCENTRAÇÃO
Silicato tricálcico (C3S)	20 - 70
Silicato dicálcico (Ca2Si)	10 - 60
Ferro-aluminato de cálcio (C4AFe)	5 - 15
Sulfato de cálcio (CaSO4)	2 - 8
Aluminato tricálcico (C3A)	1 - 15
Carbonato de cálcio (CaCO3)	0 - 10
Óxido de magnésio (MgO)	0 - 6
Óxido de cálcio	0 - 3

Fonte: InterCement (2015)

Para a realização dos ensaios de caracterização física do cimento foram utilizadas as normas como mostra a Tabela 5, e a Figura 14 ilustra algumas etapas dos ensaios. Os resultados dos mesmos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Ensaios físicos de caracterização do cimento e as respectivas normas

Ensaios	Normas
Finura # 0,075mm	NBR 11579
1) Massa específica	NBR NM 23
2) Início e fim de pega	NBR NM 65

Fonte: autoria própria

Figura 14 - Etapas dos ensaios físicos do cimento

Fonte: autoria própria

Tabela 6 - Características do cimento CP II-E-32

PROPRIEDADE	RESULTADO
Finura # 0,075 (%)	0,44
Tempo de pega (hs)	04:46
Massa específica (g/cm³)	3,035

Fonte: Autoria própria

3.3.2 Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz, um dos resíduos substituído no concreto, foi proveniente da Indústria Cereais Passo da cidade de Itaqui-RS, identificada como " Micro sílica MS – 325". É uma microssílica cuja base é uma sílica finamente moída de cor cinza preto. Não foi preciso buscar este material, pois o mesmo já estava disponível no Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí.

A caracterização deste material foi realizada no laboratório de Engenharia Civil da Unijuí. As normas utilizadas estão apresentadas na Tabela 7 e a Figura 15 ilustra algumas etapas dos ensaios. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 8.

Tabela7 - Ensaios físicos de caracterização da cinza de casca de arroz e as respectivas normas

Ensaios	Normas
1) Finura # 0,075mm	NBR 11579
2) Massa específica	NBR NM 23

Fonte: autoria própria

Figura 15 - Etapas dos ensaios físicos da microssílcia da cinza de casca de arroz

Fonte: Autoria própria

Tabela 8 - Características da microssílica da cinza de casca de arroz

PROPRIEDADE	RESULTADO
Finura # 0,075 (%)	0,28
Massa específica (g/cm³)	1,84

Fonte: autoria própria

Através dos dados obtidos pela CIENTEC (Fundação de Ciência e Tecnologia), a cinza de casca de arroz utilizada na pesquisa apresentou as seguintes características, descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características da microssílica da cinza de casca de arroz pela CIENTEC

PROPRIEDADE	RESULTADO
Sílica (SiO2) in natura (%)	87,7
Sílica (SiO2) nas cinzas (%)	95,7
Umidade de higroscopia (%)	1,71
Teor de não queimados (%)	8,65
Diâmetro médio (μm)	22,72

Fonte: CIENTEC (2010)

3.3.3 Areia média (natural)

O agregado miúdo foi fornecido pelo LEC – Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí, localizado no município de Ijuí – RS. Os ensaios de caracterização física deste material foram determinados pelas normas, como mostra a Tabela 10. A Figura 16 ilustra alguns procedimentos do ensaio, e a Tabela 11 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 10 - Ensaios físicos de caracterização do agregado miúdo e as respectivas normas

Ensaios	Normas
1) Composição Granulométrica	NBR NM 248
2) Massa específica do agregado miúdo	NBR 9776
3) Massa unitária solta	NBR NM 45

Fonte: autoria própria

Figura 16 - Procedimentos dos ensaios físicos da areia

Fonte: autoria própria

Tabela 11 - Características da areia natural

PROPRIEDADE	RESULTADO
Diâmetro máx. (mm)	1,2
Módulo de finura	1,9
Massa específica (g/cm³)	2,60
Massa unitária solta (kg/dm³)	1,53

Fonte: Autoria própria

3.3.4 Areia de fundição

A areia de fundição utilizada foi doada pela Empresa FUNDIMISA do município de Santo Ângelo – RS, como mostra a Figura 17.

Para os ensaios de caracterização desse material foram utilizadas as mesmas normas da areia média (natural), citadas anteriormente na Tabela 10 e os mesmos procedimentos para a realização dos ensaios, os resultados obtidos estão representados na Tabela 12.

Figura 17 - Fábrica especializada na fundição de ferro e usinagem (Fundimisa)

Fonte: Fundimisa (2015)

Tabela 12 - Características da areia de fundição

PROPRIEDADE	RESULTADO
Diâmetro máx. (mm)	0,6
Módulo de finura	1,16
Massa específica (g/cm³)	2,43
Massa unitária solta (kg/dm³)	1,33

Fonte: Autoria própria

3.3.5 Brita 1

O agregado graúdo, brita 1, assim como a areia natural, também foi fornecido pelo LEC da Unijuí. Os ensaios de caracterização física deste material foram determinados pelas normas que estão apresentadas na Tabela 13, a Figura 18 ilustra algumas etapas dos ensaios, e a Tabela 14 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 13 - Ensaios físicos de caracterização do agregado graúdo e as respectivas normas

Ensaios	Normas
1) Composição Granulométrica	NBR NM 248
2) Massa específica e absorção do agregado graúdo	NBR NM 53
3) Massa unitária compactada	NBR NM 45

Fonte: autoria própria

Figura 18 - Ensaios de caracterização da brita 1

Fonte: autoria própria

Tabela 14 - Características físicas do agregado graúdo (brita 1)

PROPRIEDADE	RESULTADO
Diâmetro máx. (mm)	19
Módulo de finura	6,75
Massa específica (g/cm³)	2,93
Absorção (%)	1,24
Massa unitária compac.(kg/dm³)	1,69

Fonte: Autoria própria

3.3.6 Água

A água utilizada para a caracterização dos materiais e a moldagem dos corpos de prova, foi do poço artesiano que abastece o LEC da Unijuí.

3.4 MÉTODO DE DOSAGEM E MISTURAS

Uma das principais etapas, e que requer muita atenção é o processo de dosagem, sendo uma atividade de extrema importância, porque além de estabelecer as quantidades de cada material constituinte do concreto, também influencia nas características responsáveis por alcançar um bom desempenho no produto final, relacionadas à qualidade e a economia.

Basílio (1977) define a dosagem do concreto como a técnica e a arte de fixar as quantidades dos seus elementos componentes, a fim de garantir-lhe as características exigidas na fase plástica e na fase após endurecimento.

Depois de finalizados os ensaios de caracterização dos materiais constituintes do concreto, foi possível calcular o traço de referência e executar as moldagens. Para a realização desta pesquisa utilizou-se o Método de Dosagem da ABCP, que é um método baseado em tabelas, sendo calculado de maneira simples e desenvolvido os passos para obterem-se as devidas proporções dos materiais.

Estabeleceu-se um abatimento de tronco de cone de 80 a 100 mm, sendo que para obter um determinado abatimento, a quantidade de água depende do tamanho máximo, da forma, da textura e da granulometria do agregado graúdo e miúdo.

Depois de calculados os traços, estabeleceu-se a quantidade de material necessária para a moldagem de 10 corpos de prova por traço, sendo 8 deles utilizados para obter a resistência à compressão nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, 2 corpos de prova para cada idade, e 2 corpos de prova para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, rompidos aos 28 dias de idade.

Após a determinação do traço referência, foram moldados os corpos de prova com, 5%, 10%, 15% e 20% de substituição parcial do cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz e substituição parcial da areia natural pela areia de fundição, primeiro em misturas separadas e em seguida os dois resíduos em uma mesma mistura.

Os traços moldados foram:

- RF, sem adição de resíduos;

- F 5, moldado com 5% de substituição da areia natural por areia de fundição;

- F 10, moldado com 10% de substituição da areia natural por areia de fundição;

- F 15, moldado com 15% de substituição da areia natural por areia de fundição;

- F 20, moldado com 20% de substituição da areia natural por areia de fundição;

- M 5, moldado com 5% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- M 10, moldado com 10% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- M 15, moldado com 15% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- M 20, moldado com 20% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- FM 5, moldado com 5% de substituição da areia natural por areia de fundição e, 5% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- FM 10, moldado com 10% de substituição da areia natural por areia de fundição e, 10% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- FM 15, moldado com 15% de substituição da areia natural por areia de fundição e, 15% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

- FM 20, moldado com 20% de substituição da areia natural por areia de fundição e, 20% de substituição do cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

Os cálculos de dosagem encontram-se no Apêndice A. Os Quadros 4, 5 e 6 apresentam respectivamente, os traços e as quantidades de materiais da mistura com areia de fundição, da mistura com microssílica da cinza de casca de arroz e da mistura com os dois resíduos juntos.

Quadro 4 - Consumo de materiais por traço para a substituição de areia natural por areia de fundição

TRAÇO	Consumo Cimento	Consumo Areia Natural	Consumo Areia de Fundição	Consumo Brita	Consumo Água	Fator (a/c)
RF	7,76 kg	16,58 kg	X	32,5 kg	5,13 kg	0,66
F 5	7,76 kg	15,75 kg	0,830 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
F 10	7,76 kg	14,92 kg	1,66 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
F 15	7,76 kg	14,10 kg	2,49 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
F 20	7,76 kg	13,26 kg	3,32 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66

Fonte: autoria própria

Quadro 5 - Consumo de materiais por traço para a substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz

TRAÇO	Consumo Cimento	Consumo Areia Natural	Consumo Microssílica da cinza de casca de arroz	Consumo Brita	Consumo Água	Fator (a/c)
RF	7,76 kg	16,58 kg	X	32,5 kg	5,13 kg	0,66
M 5	7,37 kg	16,58 kg	0,390 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
M 10	6,98 kg	16,58 kg	0,780 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
M 15	6,60 kg	16,58 kg	1,16 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
M 20	6,32 kg	16,58 kg	1,55 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66

Fonte: autoria própria

Quadro 6 - Consumo de materiais por traço para a substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz e substituição da areia natural por areia de fundição

TRAÇO	Consumo Cimento	Consumo Areia Natural	Consumo Areia de Fundição	Consumo Microssílica da cinza de casca de arroz	Consumo Brita	Consumo Água	Fator (a/c)
RF	7,76 kg	16,58 kg	X	X	32,5 kg	5,13 kg	0,66
FM 5	7,37 kg	15,75 kg	0,830 kg	0,390 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
FM 10	6,98 kg	14,92 kg	1,66 kg	0,780 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
FM 15	6,60 kg	14,10 kg	2,49 kg	1,16 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66
FM 20	6,21 kg	13,26 kg	3,32 kg	1,55 kg	32,5 kg	5,13 kg	0,66

Fonte: autoria própria

Após a determinação das quantidades de materiais para cada um dos traços, produziu-se no Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí o concreto em betoneira, Figuras 19 e 20.

Figura 19 - Materiais separados para a moldagem

Fonte: Autoria própria

Figura 20 - Materiais misturados em betoneira

Fonte: Autoria própria

Determinou-se o abatimento de tronco de cone (Slump Test) de 80 ±100 mm. Para a realização destes procedimentos seguiu-se a norma NBR NM 67 (1998), sendo primeiramente umedecidos os moldes e a placa de base, fixando-se a placa ao chão com os pés, encheu-se o molde rapidamente com o concreto, em três camadas, cada uma recebeu 25 golpes da haste de cone. Esses procedimentos estão ilustrados pelas Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Realização do Slump Test

Fonte: Autoria própria

Figura 22 - Medida do abatimento do tronco de cone

Fonte: Autoria própria

Finalizados os procedimentos para a determinação do abatimento do tronco de cone, corrigiu-se o consumo real de água de cada traço, o fator a/c e obteve-se a massa específica do concreto, como mostra os Quadros 7, 8 e 9.

Quadro 7 - Valores do abatimento do tronco de cone (Slump Test) e fator a/c final para a substituição da areia natural pela areia de fundição no concreto

TRAÇO	Abatimento mm	Consumo real de água (l)	Fator a/c corrigido	Peso Específico do Concreto (kg/m³)
TR	90	4,380	0,56	22,84
F 5	85	3,310	0,55	22,93
F 10	100	4,480	0,58	22,37
F 15	90	4,440	0,57	22,80
F 20	90	4,610	0,59	22,62

Fonte: autoria própria

Quadro 8 - Valores do abatimento do tronco de cone (Slump Test) e fator a/c final para a substituição de cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz no concreto

TRAÇO	Abatimento mm	Consumo real de água (l)	Fator a/c corrigido	Peso Específico do Concreto (kg/m³)
TR	90	4,380	0,56	22,84
M 5	90	4,360	0,59	22,80
M 10	90	4,420	0,63	22,75
M 15	85	4,480	0,68	22,86
M 20	95	4,640	0,73	22,80

Fonte: autoria própria

Quadro 9 - Valores do abatimento do tronco de cone (Slump Test) e fator a/c final para a substituição da areia natural pela areia de fundição e do cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz no concreto

TRAÇO	Abatimento mm	Consumo real de água	Fator a/c corrigido	Peso Específico do Concreto
TR	90	4,380	0,56	22,84
FM 5	85	4,390	0,59	23,17
FM 10	95	4,640	0,66	22,85
FM 15	95	4,770	0,72	22,56
FM 20	90	4,810	0,77	22,54

Fonte: autoria própria

Em seguida realizou-se a moldagem dos corpos de prova, conforme preconiza a norma NBR 5738 (2003), em que as dimensões dos moldes utilizados foram de 10 x 20 cm. Primeiramente revestiram-se os moldes com uma fina camada de óleo mineral, em seguida foram colocadas 2 camadas de concreto em cada um, e cada camada recebeu 12 golpes de compactação (Figura 23).

Figura 23 - Moldagem dos corpos de prova

Fonte: autoria própria

Encerrada a moldagem, os corpos de prova ficaram expostos em temperatura ambiente durante 24 horas, em seguida foram desmoldados e levados a uma câmara úmida sob temperatura de 23 ± 2 ºC e umidade > 95%, onde permaneceram até as datas dos ensaios, que foram aos 7, 14, 21 e 28 dias de idade para o ensaio de resistência à compressão e 28 dias para

o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. As Figuras 24, 25 e 26 ilustram os procedimentos descritos.

Figura 24 - Corpos de prova expostos à temperatura ambiente

Fonte: autoria própria

Figura 25 - Corpos de prova desmoldados, medidos e numerados para serem levados a câmara úmida

Fonte: autoria própria

Figura 26 - Corpos de prova posicionados na câmara úmida

Fonte: autoria própria

3.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão

A avaliação da resistência à compressão axial do concreto ocorreu por meio dos corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí. Por meio de uma prensa normatizada determinou-se a resistência do concreto nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias a partir das datas de moldagem dos corpos de prova. Os procedimentos foram realizados conforme a NBR 5739 (2007), sendo que o corpo de prova deveria ser centrado na prensa, de maneira que o seu eixo ficasse alinhado com o da prensa, para que a resultante das forças passasse pelo centro, Figura 27. A resistência à compressão foi calculada conforme a Equação (1) a seguir:

$$fc = \frac{4F}{\pi x D^2}$$

Equação (1)

Sendo:

FC: é a resistência à compressão, em MPa;

F: é a força máxima alcançada, em Newtons;

π: Pi;

D: é o diâmetro do corpo-de-prova em mm.

Figura 27 - Ensaios de Resistência à Compressão

Fonte: Autoria própria

3.4.2 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

A análise da resistência à tração por compressão diametral ocorreu por meio de dois corpos de prova para cada traço, de dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, após 28 dias da data de moldagem. Realizado no LEC da Unijuí, o corpo de prova foi posicionado em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão, conforme descrito pela NBR 7222 (2011). A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de 0,05 ± 0,02 MPa/s até a ruptura do corpo-de-prova, Figura 28. E determinada à resistência a tração por compressão diametral através da Equação (2):

$$F_{t,D} = \frac{2F}{\pi d L}$$

Sendo: *Equação (2)*

$F_{t,D}$ = resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa;

F = carga máxima obtida no ensaio, em kN;

d = diâmetro do corpo-de-prova, em mm;

L = altura do corpo-de-prova, em mm.

Figura 28 - Ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Fonte: Autoria própria

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

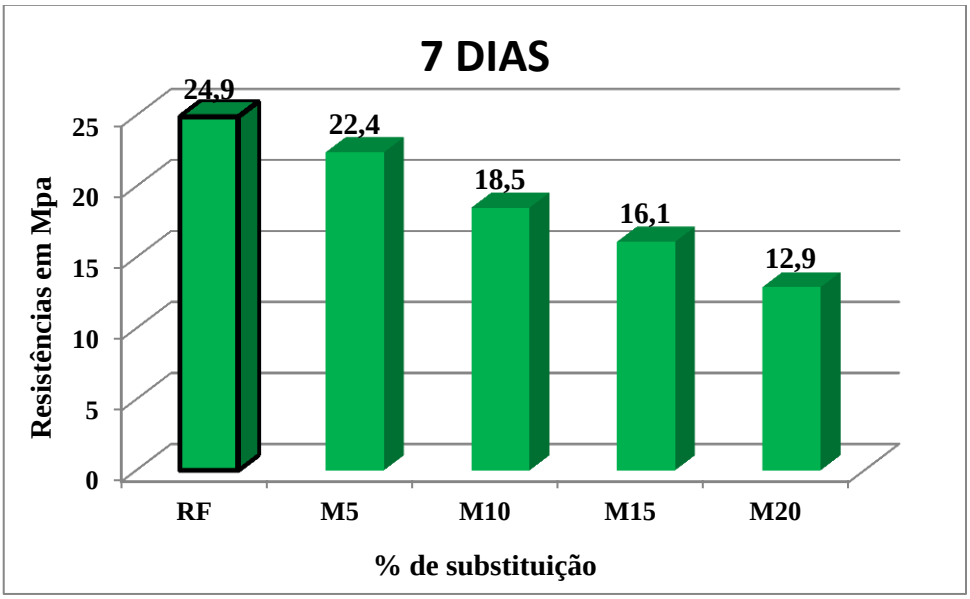
Nessa sessão serão apresentados os resultados obtidos através dos ensaios de Resistência à Compressão e Resistência à Tração por Compressão Diametral do concreto de cimento Portland.

4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PELA CINZA DA CASCA DE ARROZ

A Figura 29 ilustra os resultados encontrados através do ensaio de resistência à compressão aos 7 dias de idade do concreto. A qual mostra que o traço referência (RF) atingiu maior resistência que os demais, sendo que as resistências foram diminuindo com o aumento da substituição de cimento pela cinza da casca de arroz. A diferença de resistência entre o traço referência (RF) e o traço com menor resistência, com substituição de 20% (M20) foi de 12 Mpa, sendo um valor bastante significativo.

Kelm (2013) obteve como resultado aos 7 dias de idade do concreto resistências à compressão inferiores para todos os traços em relação ao traço referência, e constatou que quanto maior a porcentagem de substituição menor é a resistência à compressão. Resultados estes que coincidem com a presente pesquisa.

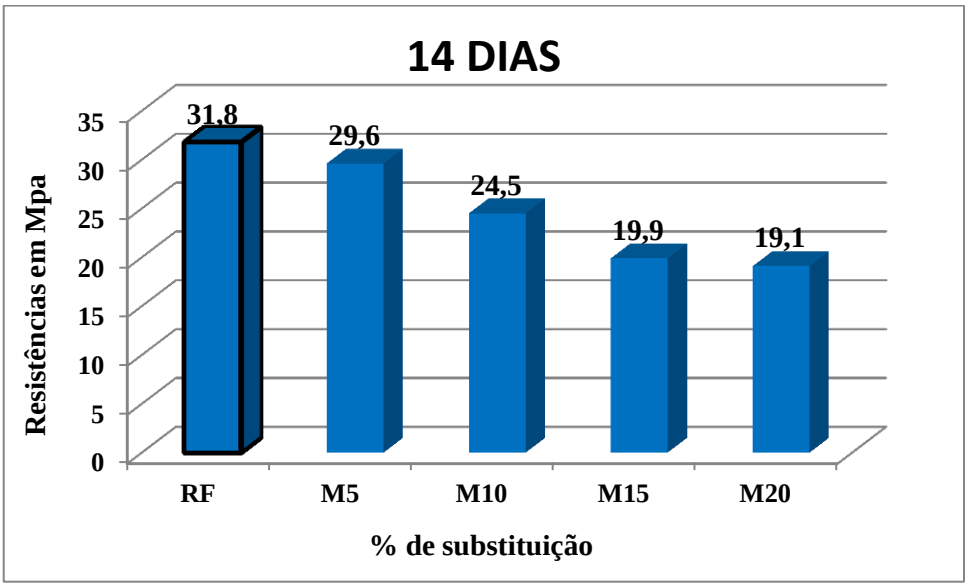
Figura 29 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Aos 14 dias de idade do concreto, podemos analisar na Figura 30 que o traço referência (RF) continuou sendo o traço que atingiu maior resistência, alcançando 31,8 Mpa, enquanto que o traço com 5% de substituição do cimento pela cinza da casca de arroz obteve valor próximo, chegando a 29,6 Mpa, e os demais traços foram diminuindo progressivamente conforme o aumento do teor de substituição, até chegar em 19,1 Mpa com a substituição de 20% (M20).

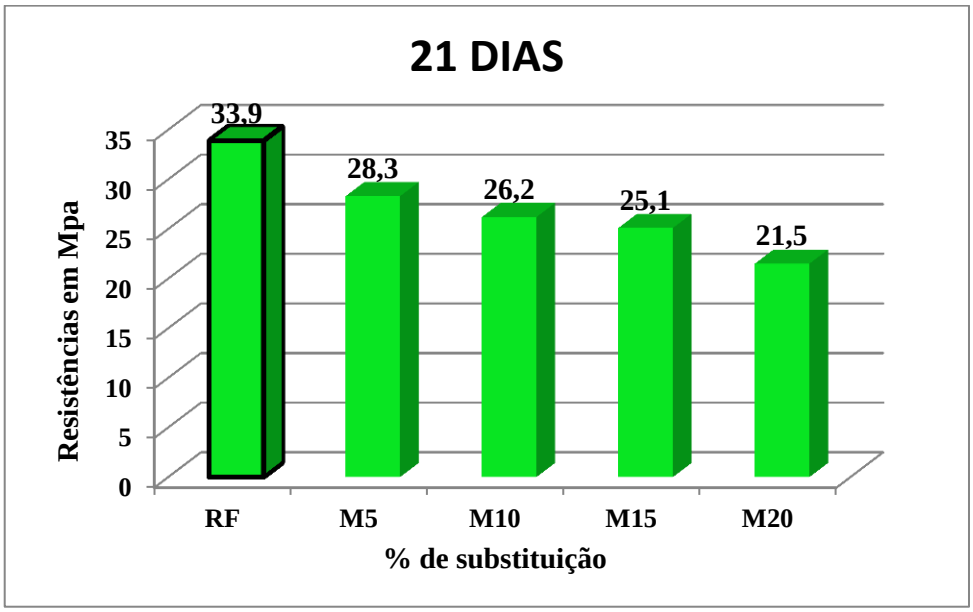
Figura 30 - Resistência à Compressão do concreto aos 14 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Com o passar dos dias, com um tempo maior de cura, a resistência do concreto aumentou, e mesmo assim o traço referência (RF) aos 21 dias de idade continuou sendo maior que os traços com substituição do cimento pela cinza da casca de arroz, Figura 31. Mesmo com a redução das resistências devido à substituição, o traço com maior porcentagem de substituição atingiu 21,5 Mpa de resistência à compressão, sendo uma resistência bastante considerável para vários tipos de obras e também um traço de concreto econômico, pois o cimento é o insumo mais caro utilizado na produção do concreto, e esse traço reduz a quantidade de cimento utilizada no traço referência (RF) em 20%.

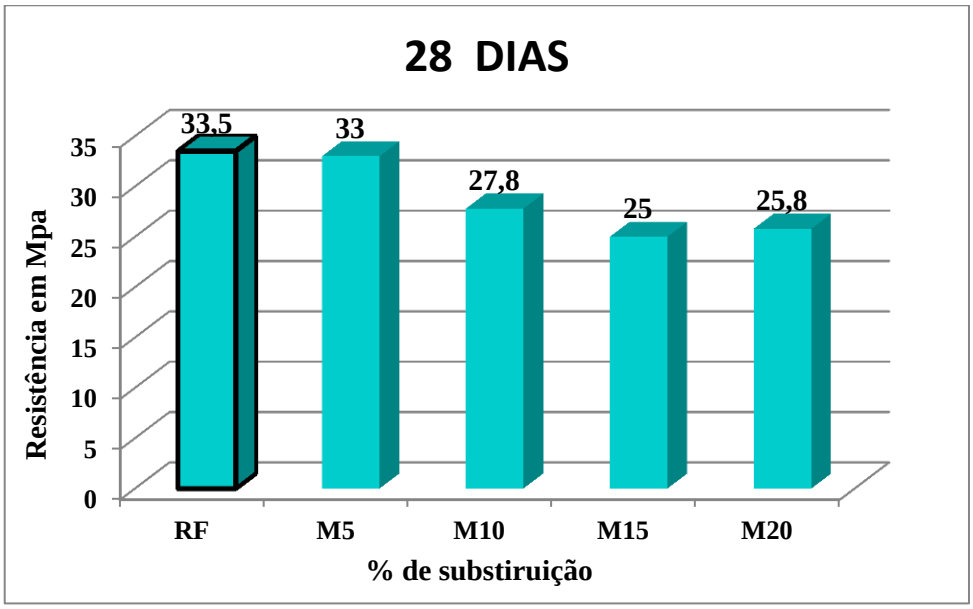
Figura 31 - Resistência à Compressão do concreto aos 21 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Aos 28 dias de idade do concreto, o traço referência (RF) foi o que atingiu maior resistência (Figura 32), mas os outros não se distanciaram muito, sendo que o traço com maior porcentagem de substituição (M20) obteve 25,8 Mpa de resistência à compressão, valor bastante significativo devido à grande porcentagem de cinza de casca de arroz que foi adicionada ao concreto.

Figura 32 - Resistência à Compressão do concreto aos 28 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Kelm (2013) ressaltou em seus estudos que aos 28 dias de idade do concreto, obtém-se um avanço das reações de hidratação dos componentes do cimento e também do processo das reações pozolânicas dos traços com microssílica da cinza de casca de arroz, o qual trouxe como resultado resistências à compressão dos corpos de prova muito próximas do traço referência, em que a diferença entre o traço referência e o maior teor de substituição ficou em torno de 6,34 Mpa.

4.1.1 Apresentação em percentuais da evolução das resistências à compressão do concreto com cinza de casca de arroz

Através da Tabela 15 pode-se fazer uma melhor análise da evolução das resistências à compressão do concreto entre as idades de 7 e 28 dias.

Tabela 15 - Evolução da resistência à compressão em porcentagem

Traço	**Resistência à compressão (MPa)**		**Aumento de Resistência (%)**
	7 dias	**28 dias**	
RF	24,9	33,5	35
M5	22,4	33	47
M10	18,5	27,8	50
M15	16,1	25	55
M20	12,9	25,8	100

Fonte: Autoria própria

Conforme a Tabela 15 podemos constatar que, a maior evolução de resistência à compressão entre as idades de 7 e 28 dias do concreto ocorreu com o traço em que substituiu-se 20% de cimento pela cinza da casca de arroz (M20), tendo uma evolução de 65% de resistência superior a evolução de resistência alcançada pelo traço moldado sem adição de resíduos, para o mesmo período. Também podemos perceber que a evolução das resistências para cada um dos traços, analisados no mesmo período (7 aos 28 dias), ocorreu proporcional ao aumento da porcentagem de substituição, em que o traço M5 apresentou uma evolução de resistência de 47% e os demais traços, M10 e M15 apresentaram uma evolução de resistência de 50% e 55% respectivamente. Essa evolução das resistências à compressão nos traços com substituição do cimento pela cinza de casca de arroz pode ter sido causada pelo diferente formato dos grãos de cinza de casca de arroz, e explicado através dos ensaios de

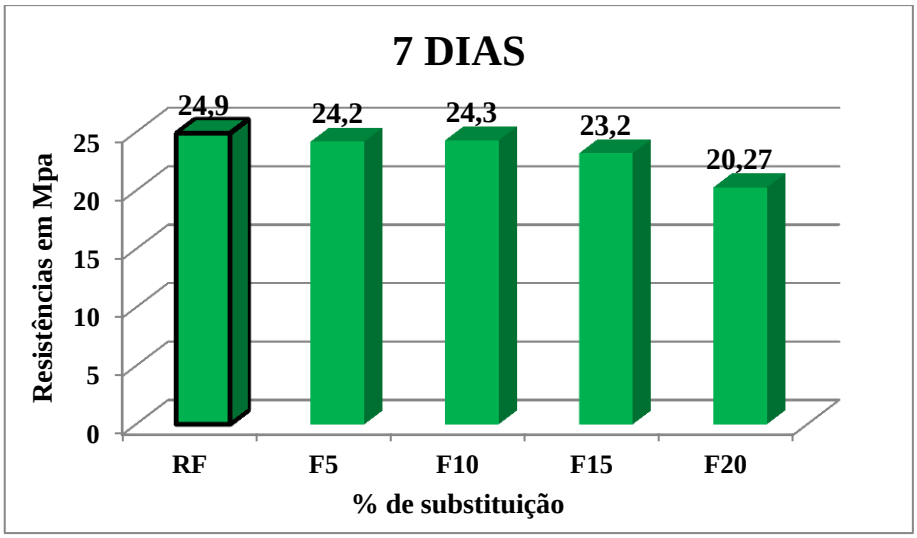
caracterização desses materiais em que o cimento utilizado apresentou massa específica de 3,035 g/cm³ e a cinza da casca de arroz 1,84 g/cm³, sendo uma diferença bastante significativa que provavelmente pode ter interferido nos resultados.

4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO

Através do ensaio de resistência à compressão, obtiveram-se os resultados que estão apresentados na Figura 33. Em que, pode-se perceber que o traço referência (RF), moldado sem a adição de resíduos, atingiu aos 7 dias de idade maior resistência à compressão, se comparado com os demais traços moldados com a substituição da areia natural pela areia de fundição. Contudo, essa redução de resistência é relevante, sendo que as substituições com 5% e 10% resultaram em resistências muito próximas do traço referência (RF).

Os resultados encontrados diferem bastante dos apresentados por Lima (2014), em que substituindo porcentagens de areia natural por areia de fundição, de 5 em 5% até chegar em 50%, a autora citada obteve para todas as idades resistências superiores ao traço referência. Isso pode ser explicado pelo tipo de cimento utilizado na moldagem dos corpos de prova, sendo que foi utilizado pela autora mencionada anteriormente o CP IV - 32, e na presente pesquisa utilizou-se o CP II E – 32, pois os materiais que compõem o cimento influenciam nas propriedades do concreto, e principalmente na resistência à compressão.

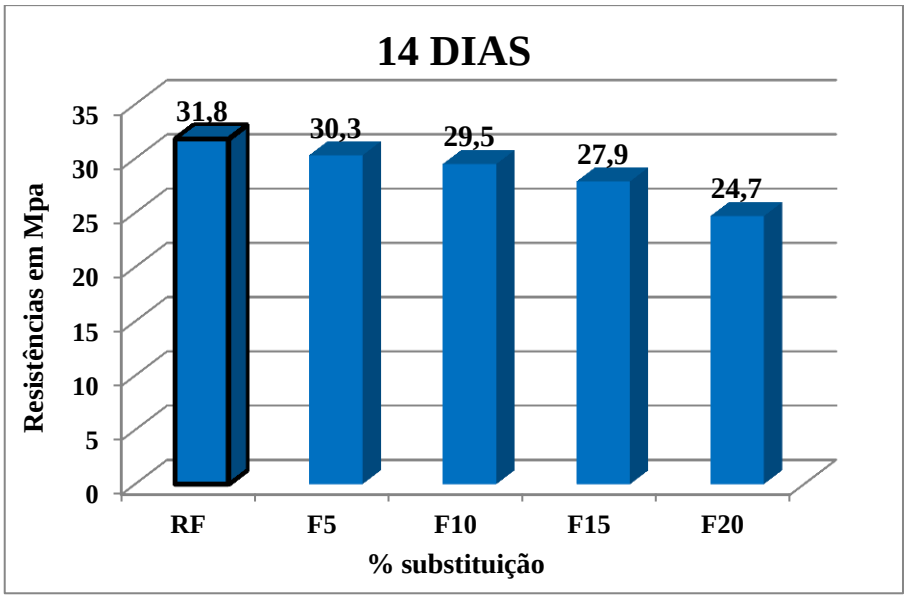
Figura 33 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Ao observar a resistência à compressão do concreto aos 14 dias de idade (Figura 34), percebe-se que o traço referência obteve maior resistência entre os demais, mas o traço com 5% de substituição da areia natural pela areia de fundição (F5) manteve-se próximo, atingindo 30,3 Mpa de resistência, 1,5 Mpa inferior ao traço referência (RF).

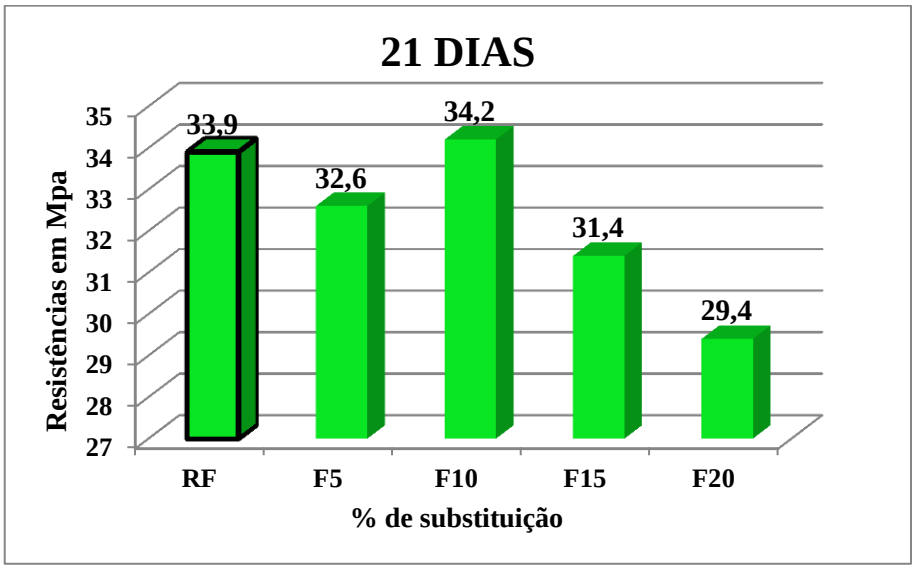
Figura 34 - Resistência à Compressão do concreto aos 14 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Através da Figura 35 pode-se analisar a evolução das resistências a compressão aos 21 dias de idade. O traço referência (RF) atingiu 33,9 Mpa, os demais traços mantiveram-se com resistências inferiores, exceto o traço com 10% de substituição da areia natural pela areia de fundição (F10), que obteve 34,2 Mpa.

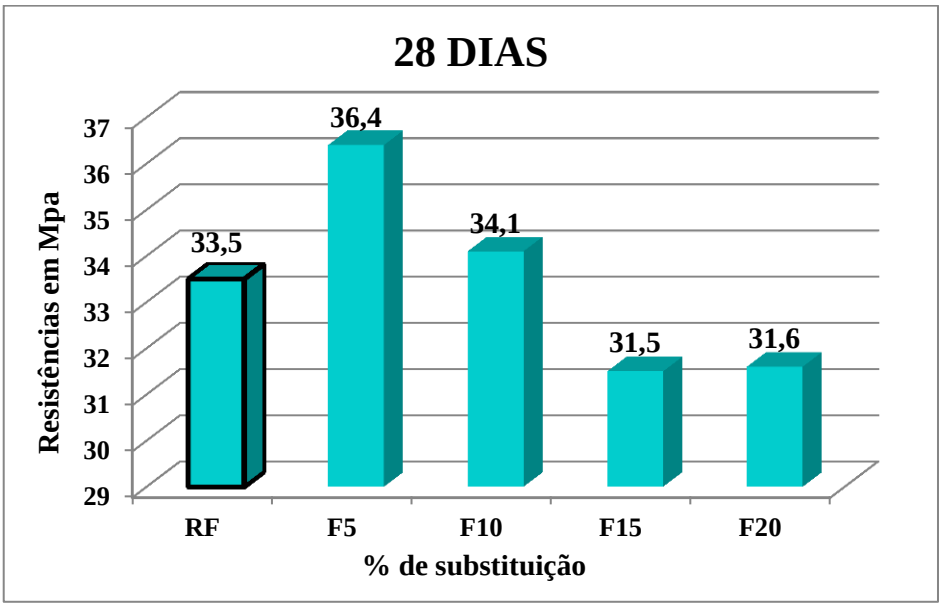
Figura 35 - Resistência à Compressão do concreto aos 21 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Aos 28 dias de idade, com um tempo maior de cura do concreto, dois traços obtiveram valores de resistências superiores ao traço referência (RF), que permaneceu com 33,5 Mpa, sendo o traço com 5% de substituição da areia natural pela areia de fundição (F5), com 36,4 Mpa e o traço com 10% de substituição da areia natural pela areia de fundição (F10), com resistência à compressão de 34,1 Mpa, enquanto que os demais traços mantiveram-se constantes, Figura 36. O aumento da resistência com a utilização da areia de fundição pode ser explicado através dos ensaios de caracterização desta areia, sendo que através dos ensaios de granulometria o módulo de finura da areia natural resultou em 1,9 e o módulo de finura da areia de fundição em 1,16. Pelo fato da areia de fundição possuir grãos mais finos que a areia natural, consegue preencher melhor os vazios do concreto e também contribuir para a melhor hidratação do mesmo.

Figura 36 - Resistência à Compressão do concreto aos 28 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Já aos 28 dias de idade do concreto, Lima (2014) menciona em sua pesquisa que, todos os traços obtiveram resistência à compressão superior ao traço referência, sendo que a maior resistência alcançada foi com substituição de 5%, chegando a 8,17 Mpa superior ao resultado encontrado no traço referência. Já na pesquisa em estudo obteve-se uma evolução das resistências, e mesmo assim apenas dois traços resultaram em valores superiores ao traço referência (RF).

4.2.1 Apresentação em percentuais da evolução das resistências à compressão do concreto com areia de fundição

Por meio da Tabela 16 podemos fazer uma análise quanto ao percentual de evolução de resistência à compressão em cada traço, que ocorreu durante o período de 7 dias aos 28 dias de idade do concreto.

Tabela 16 - Evolução da resistência à compressão em porcentagem

Traço	Resistência à compressão (MPa)		Aumento de Resistência (%)
	7 dias	28 dias	
RF	24,9	33,5	35
F5	24,2	36,4	50
F10	24,3	34,1	40
F15	23,2	31,5	36
F20	20,27	31,6	56

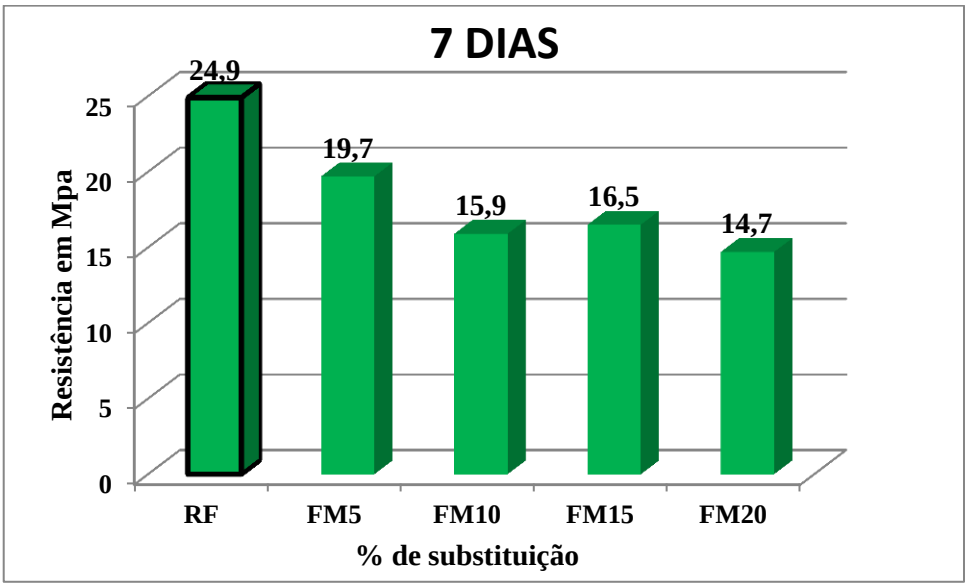
Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 16 consegue-se perceber que o traço que obteve maior evolução da resistência à compressão durante o período de, 7 dias de idade do concreto aos 28 dias, foi o traço com 20% de substituição da areia natural pela areia de fundição (F20), atingindo uma evolução de 56%. A segunda maior evolução ocorreu com o traço F5, que atingiu 50% durante o mesmo período. Já o traço referência (RF) teve uma evolução de resistência de 35% e os traços F10 e F15 chegaram a valores próximos deste, com 40% e 36% respectivamente. As maiores evoluções de resistências para o mesmo período ocorreram nos traços em que se substituiu areia de fundição, este fato pode ser esclarecido pela existência de alguns componentes químicos que compõe esta areia.

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO COM SUBSTIUTIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR AREIA DE FUNDIÇÃO E COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR CINZA DE CASCA DE ARROZ

A Figura 37 apresenta os resultados obtidos com a substituição dos dois resíduos em uma mesma mistura de concreto, ou seja, a substituição parcial da areia natural pela areia de fundição e do cimento pela cinza de casca de arroz. Como pode ser analisado na Figura 37, o traço referência (RF) atingiu maior resistência que os demais, sendo que as resistências foram diminuindo com o aumento dos teores de substituição, exceto no traço FM15, em que teve um pequeno aumento de 0,6 Mpa em relação ao traço FM10.

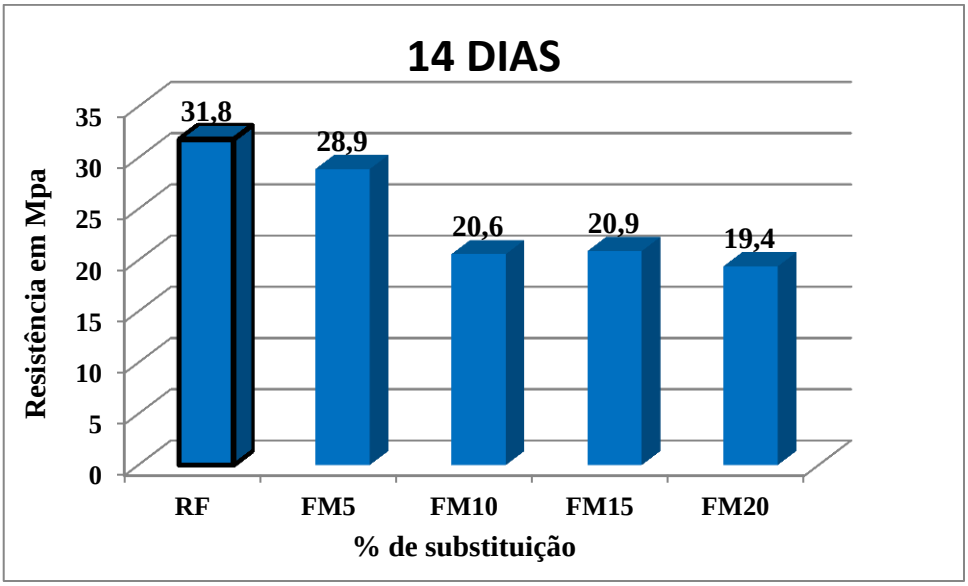
Figura 37 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Ao completar 14 dias de idade, o traço com maior resistência à compressão continuou sendo o traço referência (RF), como pode ser analisado na Figura 38. Em que o traço com substituição de 5% de areia natural por areia de fundição e 5% de cimento pela cinza da casca de arroz obteve resistência muito próxima do resultado encontrado no traço referência, sendo que a diferença entre ambos foi de 2,9 Mpa.

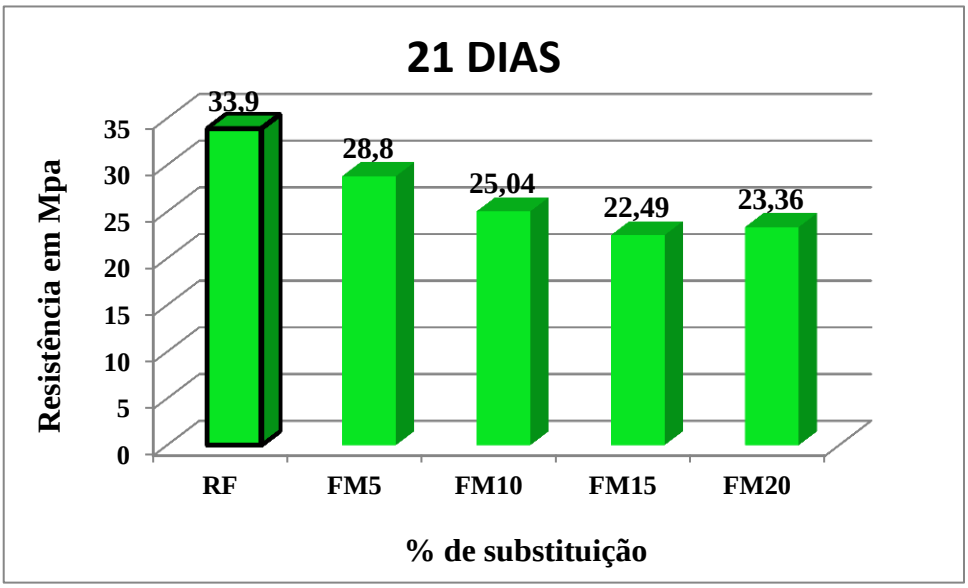
Figura 38 - Resistência à Compressão do concreto aos 7 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Aos 21 dias de idade do concreto, o traço referência (RF) manteve-se com resistência a compressão maior que os outros traços, como ilustra a Figura 39. Como podem ser analisadas, as resistências vão diminuindo com o aumento da porcentagem de substituição, exceto com substituição de 20 % (FM 20) que alcançou resistência superior ao traço FM 15.

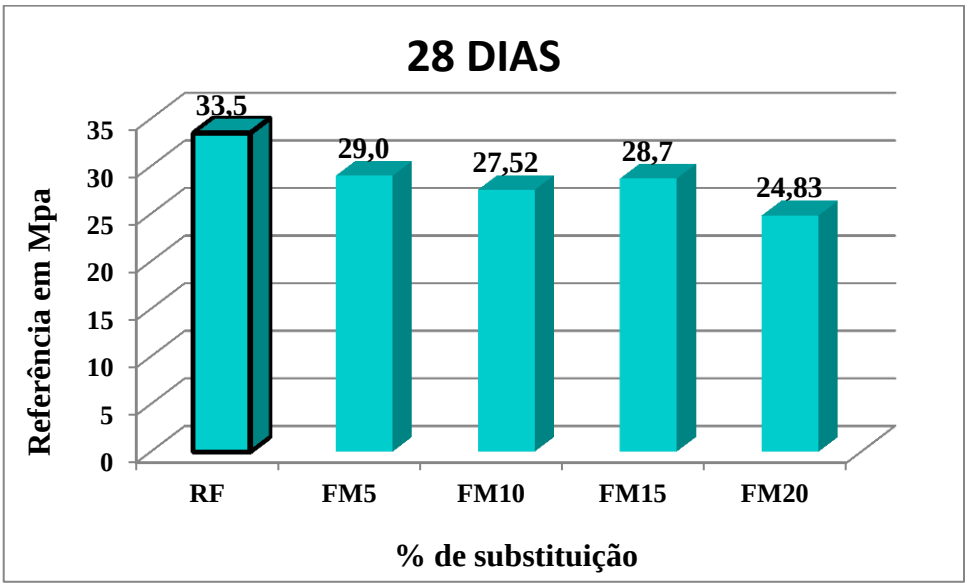
Figura 39 - Resistência à Compressão do concreto aos 21dias de idade



Fonte: Autoria própria

Podemos analisar que na Figura 40 o traço com maior resistência a compressão foi o referência (RF), atingindo 33,5 Mpa aos 28 dias de idade do concreto. Os demais traços foram diminuindo a resistência com o aumento da porcentagem de substituição, sendo que o FM15 teve um aumento de 1,18 Mpa se comparado com o FM10. O traço com maior porcentagem de substituição (FM 20) obteve 24,83 Mpa, 8,67 Mpa menor que o traço referência (RF).

Figura 40 - Resistência à Compressão do concreto aos 28dias de idade



Fonte: Autoria própria

Após a análise desses resultados, tanto com os resíduos separados como misturados, considera-se que as melhores substituições foram em menores porcentagens, como 5% e 10%, atingindo resistências consideráveis em relação ao traço referência.

4.3.1 Apresentação em percentuais da evolução das resistências à compressão do concreto com areia de fundição e cinza de casca de arroz

Através da Tabela 17 conseguimos ter um maior entendimento da evolução das resistências à compressão de cada um dos traços entre as idades de 7 e 28 dias do concreto.

Ao analisar a Tabela 17 citada anteriormente, conclui-se que ocorreu uma evolução das resistências proporcional a substituição dos resíduos, durante o mesmo período (dos 7 aos 28 dias), exceto o traço com 20% de substituição da areia natural por areia de fundição e 20% de substituição de cimento pela cinza da casca de arroz (FM20) que resultou em uma evolução de 69%, sendo uma evolução 5% inferior que o traço (FM15) que atingiu 74% de evolução. O traço referência apresentou uma evolução de resistência no mesmo período de 35%. Já o traço FM5 e FM10 apresentaram evoluções de 47% e 73%, respectivamente. Esse aumento das evoluções de resistência à compressão pode ter sido causado pelas diferentes características e compostos dos resíduos que foram substituídos nas misturas, como também pela porcentagem de substituição em cada traço.

Tabela 17 - Evolução da resistência à compressão em porcentagem

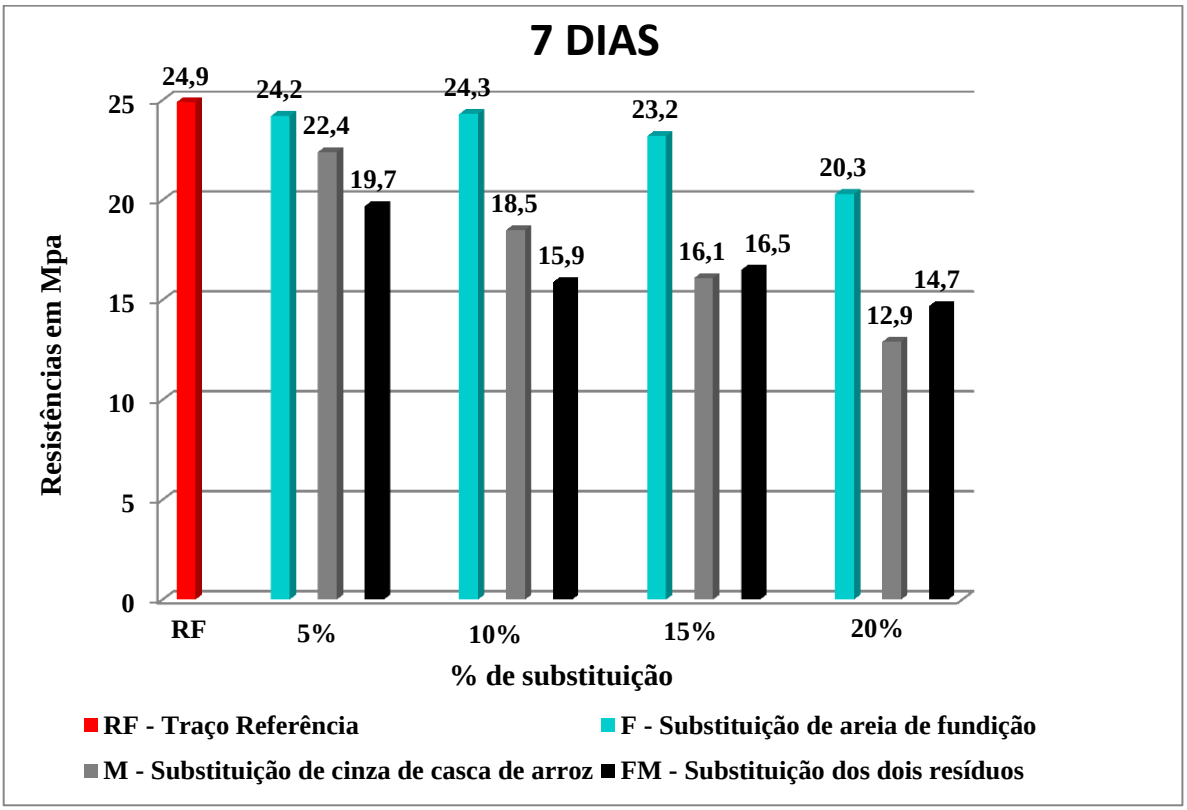
Traço	**Resistência à compressão (MPa)**		**Aumento de Resistência (%)**
	7 dias	**28 dias**	
RF	24,9	33,5	35
FM5	19,7	29	47
FM10	15,9	27,5	73
FM15	16,5	28,7	74
FM20	14,7	24,8	69

Fonte: Autoria própria

4.4 COMPARAÇÕES DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO

Elaborou-se a Figura 41 com todos os traços e suas resistências obtidas aos 7 dias de idade do concreto, como pode ser analisado a seguir. Podemos perceber que a maior resistência foi atingida pelo traço sem substituição de resíduos (RF), chegando aos 24,9 Mpa de resistência à compressão. E que os demais traços em que substituiu-se areia natural pela areia de fundição (F) atingiram resistências maiores que os traços em que foram substituídos o cimento pela cinza da casca de arroz (M). Já os traços com a substituição da areia natural pela areia de fundição e do cimento pela cinza da casca de arroz (FM) atingiram resistências menores que os traços moldados só com a substituição de um dos resíduos, exceto os traços FM15 e FM20, que resultaram em 16,5 Mpa e 14,7Mpa respectivamente, de resistência à compressão, sendo maiores que os resultados encontrados nos traços M15 e M20.

Figura 41 - Resistência à Compressão do concreto dos três tipos de misturas aos 7 dias de idade

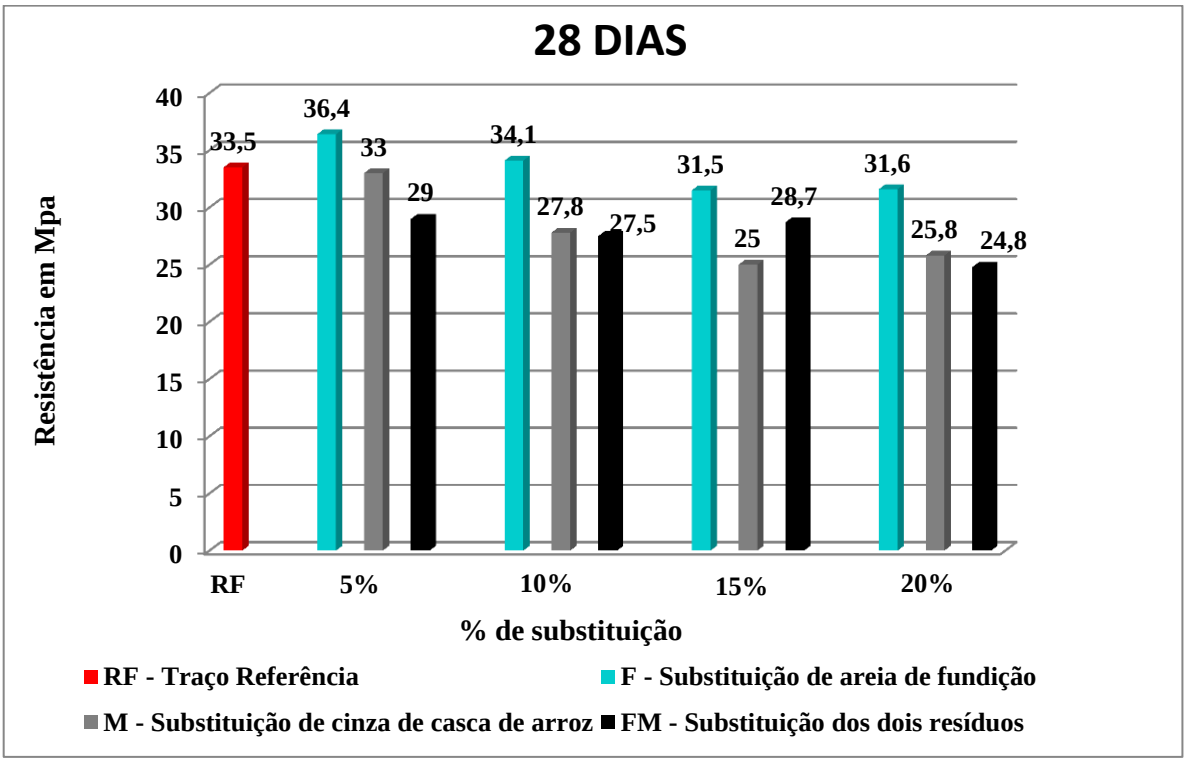


Fonte: Autoria própria

A partir da Figura 41 analisada anteriormente, pode-se concluir que os resíduos que foram substituídos no concreto, interferem em suas propriedades. Devido à substituição desses resíduos no concreto as resistências à compressão variaram, podendo ser sido causado pela composição química desses resíduos, pelas propriedades granulométricas de cada um dos resíduos, e até mesmo por erros durante a moldagem de alguns traços.

Através da Figura 42, apresentada a seguir, podemos verificar que todos os traços obtiveram resistência à compressão menor que o traço referência (RF), que atingiu 33,5 Mpa aos 28 dias de idade do concreto, exceto os traços F5 e F10, que atingiram 36,4 Mpa e 34,1 Mpa, respectivamente. Nos demais traços com cinza de casca de arroz (M) e com os dois resíduos na mesma mistura (FM), pode-se perceber que os resultados ficaram próximos e que todos os traços com apenas cinza de casca de arroz resultaram em resistência à compressão superior aos traços com os dois resíduos misturados, exceto o traço FM15 que resultou em 28,7 Mpa, sendo 3,7Mpa maior que o traço M15.

Figura 42 - Resistência à Compressão do concreto dos três tipos de misturas aos 28 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Ao analisar a Figura 42, percebemos que as resistências à compressão do concreto variaram bastante, sendo que o aumento de resistência com a substituição da areia natural por areia de fundição, talvez possa ser explicada pela sua composição granulométrica, sendo que se obteve para o módulo de finura da areia natural 1,9 e o módulo de finura da areia de fundição 1,16, dessa maneira a areia de fundição pode ter preenchido melhor os vazios do concreto e ocorrido uma melhor hidratação, aumentando assim a resistência.

Já os traços com apenas a substituição do cimento pela cinza de casca de arroz, resultaram em resistências inferiores ao traço referência, que talvez possa ser explicada também pela composição granulométrica desse resíduo, em que o cimento utilizado apresentou massa específica de 3,035 g/cm³ e a cinza da casca de arroz 1,84 g/cm³, sendo uma diferença bastante significativa que provavelmente deve ter interferido nos resultados, pois o cimento foi substituído parcialmente pela CCA.

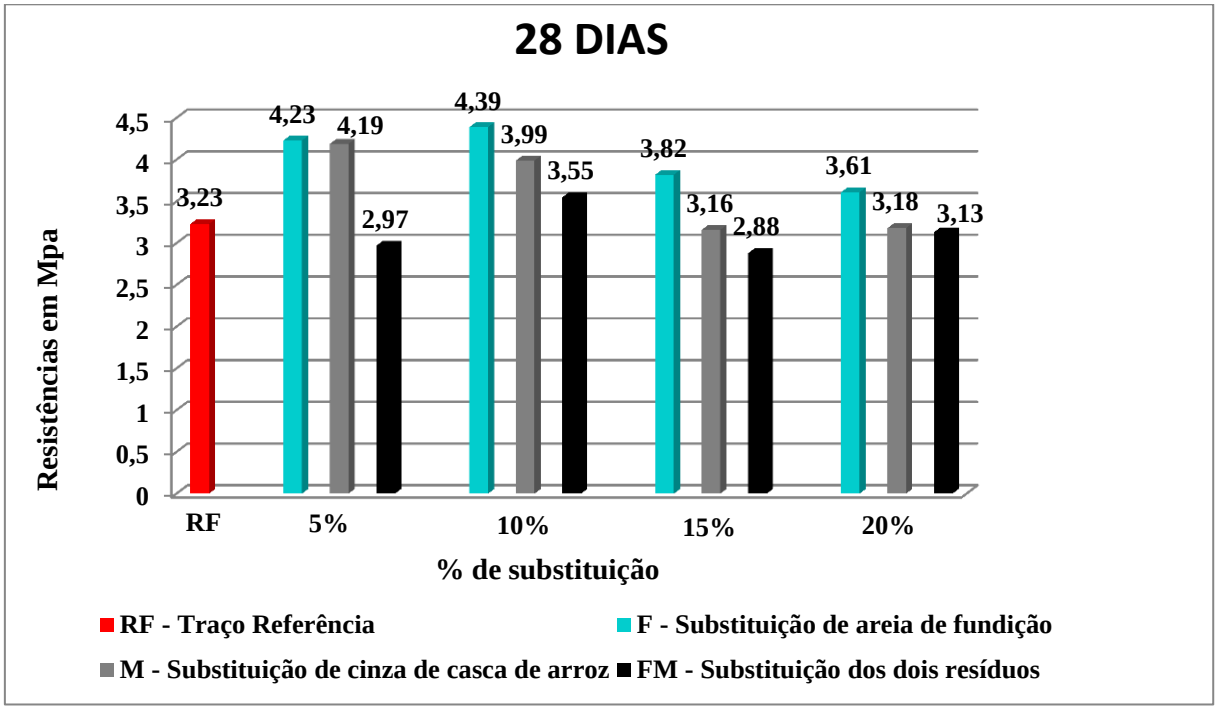
E os traços com os dois resíduos na mesma mistura não diferiram muito dos traços com apenas a CCA. Dessa maneira pode-se perceber que o resíduo que mais interferiu na resistência do concreto foi a CCA, e esses resultados talvez possam ser explicados pelo fato

de ser o cimento o material substituído e ele ser o principal responsável pela resistência do concreto.

4.5 RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO CONCRETO

Através dos resultados ilustrados na Figura 43 pode-se perceber que o traço referência (RF) atingiu 3,23 Mpa de resistência à tração por compressão diametral, valor inferior à maioria dos resultados encontrados nas misturas com substituição dos resíduos. Todos os traços moldados apenas com a substituição da areia natural pela areia de fundição (F) obtiveram resistências maiores que o traço referência (RF), em que a maior resistência alcançada foi de 4,39Mpa, obtida pelo traço com substituição de 10% de areia natural por areia de fundição (F10). A resistência resultante dos traços moldados somente com a substituição do cimento pela cinza da casca de arroz atingiram valores próximos dos traços com apenas areia de fundição, mas inferiores que os mesmos, sendo que o traço que mais se aproximou foi o M5, atingindo 4,19Mpa de resistência. Já os traços em que foram substituídos os dois resíduos, obtiveram-se resistências menores que os traços moldados com a substituição de apenas um deles, em que a menor resistência encontrada ocorreu com o traço FM15, com resistência de 2,88Mpa e a maior resistência atingida foi pelo traço FM10, com 3,55Mpa.

Figura 43 - Resistência à tração por compressão diametral do concreto dos três tipos de misturas aos 28 dias de idade



Fonte: Autoria própria

Em relação às resistências à compressão, pode-se perceber através da Figura 43, que para os mesmos traços analisados, a resistência à tração por compressão diametral resulta em valores superiores de resistência em quase todos os traços com a adição de resíduos comparando-se ao traço referência.

Os resultados apresentados na Figura 43 podem ter sido influenciados pela composição química dos resíduos, como também por alguns erros durante a realização dos ensaios.

5 CONCLUSÃO

Com a realização do presente trabalho buscou-se analisar a resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral do concreto, através da substituição parcial do cimento pela microssílica da cinza de casca de arroz e da areia natural pela areia de fundição, nos diferentes teores de substituições, 5%, 10%, 15% e 20%, primeiramente em misturas separas e em seguida com os dois resíduos na mesma mistura de concreto.

No entanto a análise das diferentes propriedades do concreto ocorreu por meio dos seguintes tópicos:

5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Através da substituição parcial da areia natural pela areia de fundição, analisadas em todos os teores de substituições, 5%, 10%, 15% e 20% e nas diferentes idades do concreto, pode-se perceber que os traços moldados sem a adição deste resíduo resultaram em resistências superiores em quase todas as idades. Mas na idade de 21 dias do concreto a substituição de 10% resultou em resistência maior que o traço referência, sendo que as demais substituições mantiveram-se com resultados próximos, porém inferiores. Já aos 28 dias de idade do concreto, as substituições de 5% e 10% obtiveram resultados superiores ao traço referência. Mesmo com o aumento da porcentagem de substituição da areia natural pela areia de fundição, os traços obtiveram resistências próximas do traço referência.

Com a substituição do cimento pela cinza da casca de arroz, percebeu-se nesta pesquisa que todos os traços moldados com as diferentes porcentagens de substituições resultaram em resistências inferiores ao traço referência, moldado sem a adição de resíduos, sendo que quanto maior a porcentagem de substituição, menor foi à resistência encontrada. Já na idade de 28 dias, com um tempo maior de cura do concreto, os resultados obtidos foram bastante próximos do traço referência.

Nos traços moldados com os dois resíduos na mesma mistura, areia de fundição e cinza de casca de arroz, nas substituições de 5%, 10%, 15% e 20% e nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias do concreto, os resultados encontrados foram inferiores ao traço referência, porém com um tempo maior de cura, aos 21 e 28 dias de idade do concreto os resultados conseguiram chegar a valores mais próximos do traço referência.

Entretanto, pode-se concluir que a adição desses resíduos ao concreto é viável e pode ser reconhecida pelo mercado da construção civil, pois muitos traços superam a resistência obtida pelo traço sem adição de resíduos. E além de aumentar a resistência, melhorando as propriedades do concreto, também diminui o consumo de matérias primas, e consequentemente contribui para a minimização do impacto ambiental.

5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram realizados aos 28 dias de idade do concreto e com as diferentes porcentagens de substituições, 5%, 10%, 15% e 20%, primeiro em misturas separadas e em seguida com os dois resíduos na mesma mistura de concreto.

Os traços de concreto que foram substituídos apenas a areia natural por areia de fundição, obtiveram resultados bastante satisfatórios, pois todos os traços resultaram em resistências superiores ao traço referência.

No momento em que se substituiu somente o cimento pela cinza da casca de arroz, os resultados obtidos mantiveram-se próximos ao traço referência, sendo que as substituições de 5% e 10% alcançaram valores superiores ao traço referência, e os demais traços obtiveram resultados próximos, porém inferiores que o traço referência.

Quando se substituiu os dois resíduos na mesma mistura, areia de fundição e a microssílica da cinza de casca de arroz, todos os resultados obtidos foram inferiores ao traço referência, moldado sem adição de resíduos, exceto o traço com 10% de substituição, que atingiu resistência superior ao traço referência.

Com a realização desses ensaios percebeu-se que alguns traços variaram bastante, o que pode ter sido causado por erros durante a execução do ensaio. Mas mesmo assim, percebe-se que a introdução desses resíduos ao concreto é viável, sendo uma ótima alternativa de reutilização desses resíduos e que contribui para o melhoramento das propriedades do concreto de cimento Portland.

No entanto, vale frisar que, para esses traços de concreto serem produzidos em grande escala, necessitam de maiores estudos, principalmente em relação à composição química dos

resíduos, e também sobre a microestrutura do concreto, que talvez consiga esclarecer melhor os resultados obtidos.

5.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo com outros tipos de cimentos, para poder comparar as diferenças nas propriedades do concreto;
- Produção de concreto com os mesmos traços estudados nesta pesquisa, porém em grande escala;
- Análise das composições químicas dos resíduos, cinza de casca de arroz e areia de fundição;
- Análise da microestrutura do concreto e dos seus materiais constituintes.

REFERÊNCIAS:

ABIFA: **Associação Brasileira de Fundição**. Disponível em: <http://www.abifa.org.br>. Acesso em: 30 março 2015.

Albrecht Equipamentos Industriais: **Regeneração de areias ligadas quimicamente por processo ecologicamente correto.** Disponível em: <http://www.albrecht.com.br/pt-br/default.php?go=nov-5-7-06-areias >. Acesso em: 12 março 2015.

ALMEIDA; DA LUZ (Ed), **Manual de Agregados para Construção Civil.** Rio de Janeiro, 2009. 245p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL - ANEPAC. Anuário ANEPAC 2011. São Paulo, ANEPAC, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 11578: Cimento Portland composto – Especificação. 1997. 5p.

_____. NBR 11579: Cimento Portland – determinação da finura por meio da peneira 200.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto – especificações. Rio de Janeiro, 2009. 7p.

_____. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1998. 4p.

_____. NBR NM 65: Cimento Portland - determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002. 6p.

_____. NBR NM 248: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001. 5p.

_____. NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 2003. 8p.

_____.NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. 2012. 3p.

_____.NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2006. 8p.

_____. NBR NM 53: Agregado graúdo - determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2002; 4p.

_____. NBR NM 67: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8p.

_____. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5732: Cimento Portland comum – Especificação. Rio de Janeiro, 1991

_____. NBR 5739: Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

_____. NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 2011. 5 p.

_____. NBR 12653: Materiais pozolânicos – Especificação. 2015. 3p.

BASÍLIO, F. A. **Considerações Gerais sobre a Dosagem do Concreto.** In: COLÓQUIO SOBRE DOSAGEM DO CONCRETO, maio de 1977, São Paulo. São Paulo: IBRACON, 1977.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão (Org), **Materiais de construção**, 5°ed. Rio de Janeiro: editora LTC, 2000, V1, 471p.

BRIZOLA, Rodrigo Matzenbacher. **Microestrutura do cobrimento de concretos com altos.**

teores de escória e cinza volante ativados por cimento portland e cal hidratada. 2007. 179p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

COLLINS, L. e FOX, R. A. (1985). **Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. The Geological Society publ**., 220 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - **Estudos de Prospecção de mercado**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_11_16_41_03_prospeccao_12_13.pdf> . Acesso em: 8 abril 2015.

DANTAS, José. **Montagem, comissionamento e operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição**: Regenerador Térmico - Plano de Trabalho da Fase II. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2003.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da microestrutura do comncreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento.** 2008. 134p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

FIHP - **Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado.** Disponível em <http://www.hormigonfihp.org/>. Acesso em: 20 março 2015.

FRIZZO, Benildo Tocchetto. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto**. 2001. 158p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do Rio Grande do Sul**, Rio Grande do Sul, 2003.

FUNDIMISA – **Fundição e Usinagem Ltda**. Disponível em < http://www.fundimisa.com.br/>. Acesso em: 12 março 2015.

GONÇALVES, Gislayne Elisana et al. **Síntese e caracterização de mulita utilizando sílica obtida da casca de arroz.** Rem: Ver. Esc. Minas, Ouro Preto, V, set 2009.

GOSSEN, Marcell. **Programa de gerenciamento de resíduos sólidos industriais:** Proposta de um procedimento e aplicação. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau Centro de Ciências Tecnológicas – Blumenau, 2005.

GUEDERT, L. O; **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza de casca de arroz como material pozolânico**. Dissertação de mestrado, PEPS UFSC 1989, 147 p.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo: Pini; 1992. 349 p.

HOUSTON, D. F**. Rice Hulls**. Rice Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, p. 301-340, MN, 1972.

INTERCEMENT, Brasil. **Construindo Parcerias Sustentáveis.** Disponível em: http://www.intercement.com.br/ProdutosServicos/cimento. Acesso em: 29 março 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON. **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. Revista Concreto e Construções.** São Paulo, v . XXXVII, n. 53, p. 1 – 80, mar. 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf >. Acesso em: 4 março 2015.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. **Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária,** 2 jul. 2012. Disponível em:<www.fepagro.rs.gov.br/.../20120702100451revista_pag_v17_n1_on>. Acesso em: 20 agosto 2015.

ISAIA, G. C. (Ed.). **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005, v-1.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho**: um estudo da durabilidade com vistas à corrosão da armadura. 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

KELM, Tamile Antunes. **Análise da resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz.** 2011. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

LIMA, G. T.S. **Análise de resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de areia natural por areia de fundição.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Ijuí, 2014.

LOPES, Luiz Rogério Natividade. **Avaliação da redução dos resíduos sólidos de areia resinada em fundição de aço através de recuperação térmica.** 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

LUDWING, D.G. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

MATOS, S. V.; SCHALCH, V. **Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição.** CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997.

MEHTA, P. K. In: **Proceedings of II Intern. Conference on High-performance Concrete and...**, Gramado, RS, 1999.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. P. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MILANI, A. P. S. **Avaliação Física, Mecânica e Térmica do Material Solo- Cimento-Cinza de Casca de Arroz e seu Desempenho como parede Monolítica.** Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agricola. Campinas – SP, 2008.

MISSAU, Fabiano. **Penetração de cloretos em concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz.** 2004. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. 150 p.

PEIXOTO, F. **Regeneração térmica de areia ligada quimicamente.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BRRS, 2006.

SALGADO, J. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

SANTOS, S. (1997**). Estudo de viabilidade de utilização da cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton.** Dissertação de Mestrado – Curso Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2005.

SIDDIQUE, R.; SINGH, G. **Utilization of waste foundry sand (WFS) in concretemanufacturing.** Resources, Conservation and Recycling, Volume 55, Issue 11, September 2011, Pages 885-892, ISSN 0921-3449.

SOKOLOVICZ, B. C. **Microestrutura e durabilidade a cloretos de protótipos de concreto com cinza de casca de arroz com e sem moagem prévia**. 2013. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2013.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa:** método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2006.

UNIVERSOAGRO. **A Energia que vem da Lavoura**. 2013. Disponível em: <http://www.uagro.com.br/editorias/agroenergia/2013/11/13/a-energia-que-vem-da lavoura.html>. Acesso em: 12 março 2015.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Composição dos cimentos.** Disponível em: <http://www.votorantimcimentos.com.br/hotsites/cimento/base.htm>. Acesso em: 08 abril15.

YAZIGI, W**. A técnica de edificar**. 12. ed. São Paulo: PINI, 2009.

APÊNDICE A

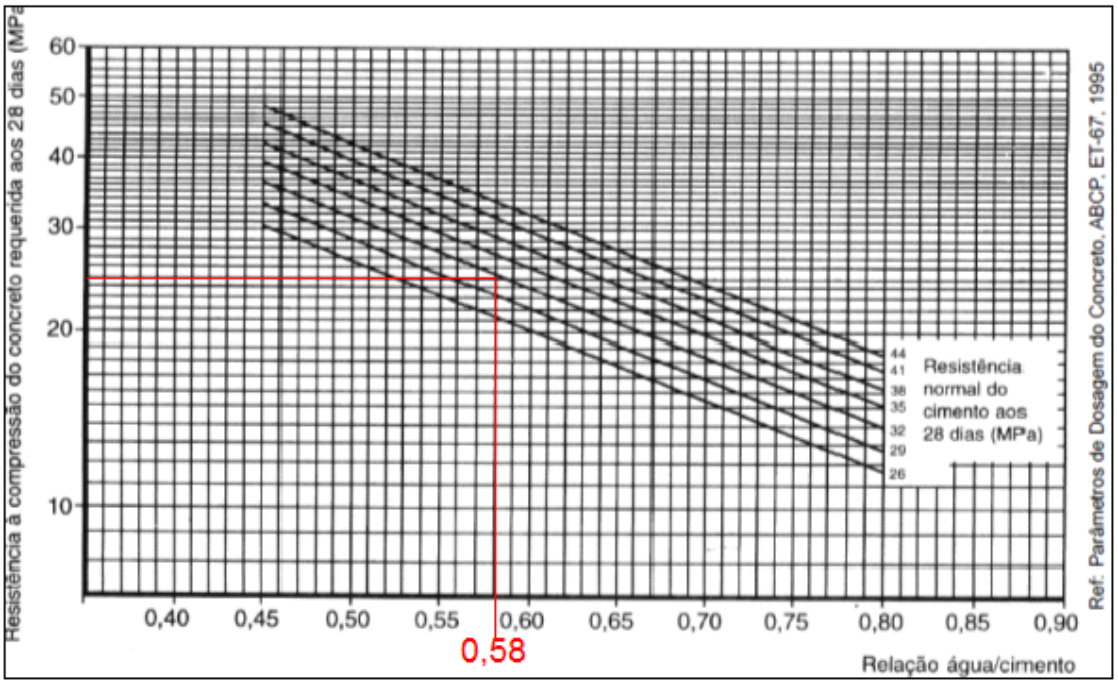
Método de Dosagem ABCP

Valores a serem determinados:

FCJ	25 Mpa
Resistência do cimento aos 28 dias	32 Mpa
Diâmetro máximo de agregado graúdo	19 mm
Módulo de finura de agregado miúdo	1,9 mm
Massa unitária compactada de agregado graúdo	1,69 kg/dm³
Massa específica real do agregado miúdo	2,600 g/cm³
Massa específica do agregado graúdo	2,93 g/cm³
Abatimento tronco de cone "SLUMP TEST"	80 a 100 mm
Massa específica do cimento	3,035 g/cm³

1º Passo – Determinação do fator a/c

- Curva de Abrans do cimento



Resistência da Dosagem do Concreto em função do desvio padrão aos 28 dias

Fc_{28} = Fck + 1,65 x sd

Fc_{28} = 20 + 1,65 x 3

Fc_{28} = 24,95 Mpa

Fator a/c = 0,58

Fator a/c adotado = 0,66

2º Passo - Determinação aproximada do consumo de água (Ca)

Consumo de água aproximado (l/m³)					
	Dmáx aagado graúdo (mm)				
Abatimento (mm)	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Consumo de água = 205 l/m³

3º Passo - Determinação do consumo de cimento (Cc):

$$Cc = \frac{Ca}{a/c} = \frac{205}{0,66}$$

$$Cc = 310,61\, kg/m^3$$

Consumo de cimento – 310,61 kg/m³

4º Passo - Determinação do consumo de agregado graúdo (Cb)

MF	Diâmetro Máximo Agregado Graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

$$Cb = Vb \cdot \gamma_{compactada}$$
$$Cb = 0{,}77 \text{ X } 1690$$
$$\text{Cb} = 1300\, kg/m^3$$

<u>Consumo de agregado graúdo – 1300 kg/m³</u>

5º Passo – Determinação do consumo de agregado miúdo

- Volume da Areia (Va)

$$Va = 1 - \left(\frac{cimento}{\delta_{cimento}} + \frac{brita}{\delta_{brita}} + \frac{água}{\delta_{água}} \right)$$
$$Va = 1 - \left(\frac{310{,}61}{3035} + \frac{1300}{2930} + \frac{205}{1000} \right)$$
$$Va = 0{,}255 m^3$$

- Determinação do consumo de agregado Miúdo

$$C_{areia} = V_{areia} \cdot \delta_{areia}$$
$$C_{areia} = 0{,}255 \ . \ 2600 \text{ kg}/m^3$$
$$C_{areia} = 663 \ kg/m^3$$

Consumo de agregado miúdo – 663 kg/m³

6º Passo - APRESENTAÇÃO DO TRAÇO

Cimento : Areia : Brita 1 : Água/Cimento

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_{brita1}}{C_c} : \frac{C_{água}}{C_c}$$

$$1 : \frac{663}{310{,}61} : \frac{1300}{310{,}61} : \frac{205}{310{,}61}$$

$$1 : 2{,}13 : 4{,}19 : 0{,}66$$

7º Passo – Cálculo das quantidades para o volume = 0,025m³

Cc = 7,76 kg

Ca = 16,58 kg

Cb = 32,50 kg

H_2O = 5,13 kg