



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CONCRETO REFORÇADO COM USO DE FIBRA DE
POLIPROPILENO E SÍLICA DE CASCA DE ARROZ**

Mônica Bergonzi

Lajeado, novembro de 2017.



Mônica Bergonzi

**CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE POLIPROPILENO COM
ADIÇÃO DE SÍLICA DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari, UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Me. Débora Pedroso Righi

Lajeado, novembro de 2017.

Mônica Bergonzi

**CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE POLIPROPILENO COM
ADIÇÃO DE SÍLICA DE CASCA DE ARROZ**

Prof. Me. Débora Pedroso Righi- Orientadora
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Doutoranda Fernanda Bianchi Pereira da Costa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Lajeado, novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter uma família de boa índole, unida e amorosa, aos bons amigos que me acompanharam nesta jornada e pelas boas oportunidades que Ele me proporcionou.

Agradeço aos meus pais, Vilsomar Bergonzi e Clarice Ana Bergonzi, que sempre me incentivaram a buscar meus ideais baseados em bom caráter e honestidade, as minhas irmãs, Fernanda Bergonzi e Renata Bergonzi que sempre se fizeram presentes mesmo distantes e também a minha irmã Géssica Bergonzi por se fazer presente e disposta a ajudar em todas as ocasiões.

Agradeço ao meu namorado Jonas Ruggeri por toda a paciência e dedicação que demonstrou durante todo este tempo de graduação.

Agradeço a amiga e professora Mestre Débora Pedroso Righi, orientadora deste trabalho, que se empenhou e dedicou-se muito. Obrigada por este um ano de muito aprendizado, contribuiu muito para consolidar minha formação acadêmica.

Agradeço aos colegas do LATEC (Laboratório de Tecnologias de Construção) da Univates e a minha irmã Géssica Bergonzi, por auxiliarem na realização das atividades práticas realizadas.

Agradeço aos demais professores do curso que sempre buscaram passar conhecimento e despertar um caráter crítico em nossos trabalhos.

RESUMO

Manifestações patológicas causadas por fissuração, desgaste abrasão e a quebra das bordas das juntas das placas de concreto são as principais causas da perda de desempenho e a vida útil dos pisos industriais. Na busca em atender os objetivos deste trabalho, que consiste em avaliar a influência da resistência mecânica e indicativos de durabilidade de concretos reforçados com fibra de polipropileno quando adicionados diferentes teores de cinza de casca de arroz (CCA), este estudo caracterizou o concreto para piso industrial contendo 10%, 20% e 30% (em volume) de substituição de cimento por cinza de casca de arroz, analisando o comportamento mecânico quanto a resistência a compressão, tração na flexão e módulo de elasticidade. Diversos tipos de carregamentos agem sobre o piso, podem ser cargas estáticas ou dinâmicas, além de sofrer com a variação térmica devido a ser moldado grandes peças, assim exigindo resistência do concreto. Soluções inovadoras com materiais sustentáveis são focos de muitos estudos, quando se substitui cimento por cinza de casca de arroz espera-se ganhos de resistência a longo prazo e também o uso de resíduos contribui para a produção de concretos mais sustentáveis. A cinza de casca de arroz é considerada um resíduo agroindustrial e seu destino final são aterros a céu aberto, onde ocasiona a poluição do ar, solo e mananciais. As fibras utilizadas na composição dos traços têm como propósito combater a fissuração causada pelo calor de hidratação ou por outros fatores que ocorrem durante a cura do concreto. Parâmetros de durabilidade também foram testados, a absorção por capilaridade e o desgaste abrasão. Os ensaios para as análises ocorreram aos 7, 28 e 63 dias, os resultados demonstram uma melhora nas características das amostras com cinza de casca de arroz de maior idade, sendo que a reação pozolânica ocorre em idades avançadas.

Palavras-Chave: Concreto. Piso industrial. Cinza de casca de arroz. Fibra de polipropileno.

ABSTRACT

Pathological manifestations caused by cracking, abrasion wear, and breaking of concrete board joints are the main causes of the loss of performance and service life of industrial floors. In the quest to meet the objectives of this work, which consists in evaluating the influence of mechanical strength, and indicative durability of concrete reinforced with polypropylene fiber when added different contents of rice husk ash (CCA), this study characterized the concrete by floor's containing up to 10%, 20% and 30% of it's volume of cement substitution per ash of rice husk, analyzing the mechanical behavior regarding the compressive strength, flexural tensile and modulus of elasticity. Several types of loads act on the floor, they can be static or dynamic loads, besides suffering with the thermal variation due to molded large pieces, requiring concrete resistance. Innovative solutions with sustainable materials are the focus of many studies, when cement is replaced by rice husk ash it's expected to gain a long-term resistance, not to mention that the use of waste contributes to the production of a more sustainable concrete. Rice bark ash is considered to be an agro-industrial waste, and its final destination are open pit landfills, where it causes pollution of air, soil and water sources. The fibers used in the composition of the traces are intended to combat cracking caused by the heat of hydration or other factors that occur during the healing process of the concrete. Durability parameters were also tested, such as absorption by capillarity and abrasion wear. The assays for the analyzes occurred at day 7th, 28th and 63th. The results show an improvement in the characteristics of the samples with rice husk ash of greater age, and the pozzolanic reaction occurs at advanced ages.

Keywords: Concrete. Industrial floor. Rice husk ash. Polypropylene fiber.

*O que é escrito sem esforço em geral é
lido sem prazer.*

Samuel Johnson

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação de resistência a compressão e abatimento para o concreto.....	30
Tabela 2 - Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade.	34
Tabela 3 - Caracterização da areia média.....	42
Tabela 4 - Caracterização da brita 1	43
Tabela 5 - Caracterização da brita 0.....	44
Tabela 6 - Características Técnicas ADVA™ CAST 525.....	44
Tabela 7 -Traços Unitários	48
Tabela 8 - Consumo de cimento	48
Tabela 9 - Valores de abatimento do concreto.....	51
Tabela 10 - Resultados de variância ANOVA.....	60
Tabela 11 - Resultados de resistência a compressão dos concretos.....	60
Tabela 12 - Resultados de módulos de elasticidade dos concretos	62
Tabela 13 - Resultados de variância ANOVA.....	64
Tabela 14 - Resultados de resistência a tração na flexão	65
Tabela 15 - Absorção de água em percentual.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos tipos de concreto, conforme a ACI 302 (ACI, 2004).....	28
Quadro 2 - Propriedades Físicas da fibra de polipropileno	45
Quadro 3 - Composição química da Sílica de Casca de Arroz.....	46
Quadro 4 - Propriedades da Sílica de Casca de Arroz	46
Quadro 5 - Classificação dos concretos	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de resistência à compressão x tempo	38
Gráfico 2 - Resultados encontrados para o ensaio de resistência a compressão.....	59
Gráfico 3 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade	61
Gráfico 4 - Resultado do ensaio de resistência a tração na flexão.....	63
Gráfico 5 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade aos 7 dias.....	66
Gráfico 6 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade aos 28 dias.....	66
Gráfico 7 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade aos 63 dias.....	67
Gráfico 8 - Resultado de perda de massa por abrasão.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Piso de concreto simples sem barra de transferência	23
Figura 2 - Piso de concreto simples com barra de transferência	23
Figura 3 - Piso de concreto com armadura eletrosoldada	25
Figura 4 - Piso de concreto protendido	26
Figura 5 - Piso de concreto reforçado com fibras	27
Figura 6 - Carregamentos estáticos - lineares, distribuídos e pontuais, respectivamente	31
Figura 7 - Maquinário de operação de estocagem industrial	32
Figura 8 - concreto reforçado com fibra de polipropileno	36
Figura 9 - Fluxograma para o programa experimental	40
Figura 10 - Fibra de polipropileno	45
Figura 11 - Processo de moldagem do concreto (a) mistura dos materiais; (b) concreto; (c) moldagem	49
Figura 12 - Ensaio slump test	50
Figura 13 - Ensaio de compressão axial simples	52
Figura 14 - Extensômetros fixados no Corpo de prova	53
Figura 15 – Esquematização para realização do ensaio.	54
Figura 16 – Ensaio de tração na flexão	54
Figura 17– Ensaio de capilaridade.....	55
Figura 18 – Máquina de abrasão Los Angeles	57
Figura 19 – Penetração d’água no ensaio de absorção por capilaridade.....	68
Figura 20 – Ensaio de desgaste por abrasão. (a) REF., (b) CCA 10% e (c) CCA 20%.....	71
Figura 21– Ensaio de desgaste por abrasão 30% CCA.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a/c	Água/cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	Instituto Americano de Concreto
CCA	Cinza de Casca de Arroz
SCA	Sílica de Casca de Arroz
CP	Corpo de Prova
GPa	Giga Pascal
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
REF	Traço Referência

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1.Contextualização	15
1.2.Justificativa	17
1.3.Hipótese.....	17
1.4.Delimitação.....	18
1.5.Organização do trabalho	18
1.6.Objetivos	19
1.6.1. Objetivo geral.....	19
1.6.2. Objetivo específicos	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1.Piso industrial.....	21
2.1.1. Tipos de pisos industriais.....	22
2.1.1.1. Piso em concreto simples.....	22
2.1.1.2. Piso em concreto armado com telas metálicas	24
2.1.1.3. Piso em concreto protendido	25
2.1.1.4. Piso em concreto reforçado com fibras	26
2.1.1.5. Classificação das categorias de pisos de concreto	27
2.1.2. Carregamentos em pisos industriais.....	30
2.1.2.1. Cargas Estáticas	31
2.1.2.2. Cargas Dinâmicas	31
2.2. Fibras	32

2.2.1 Módulo de elasticidade.....	34
2.2.2. Fibra com alto modulo de elasticidade	35
2.2.3. Fibra de Polipropileno	35
2.3. Uso de CCA como Material Pozolânico.....	36
2.3.1. Propriedades da CCA quando adicionada ao concreto.....	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1. Materiais	41
3.1.1. Cimento Portland	41
3.1.2. Água de Amassamento	41
3.1.3. Areia Média	41
3.1.4. Agregados graúdos	43
3.1.5. Aditivo Superplastificante.....	44
3.1.6. Fibra de Polipropileno	45
3.1.7. Cinza de Casca de Arroz	46
3.2. Dosagem, moldagem e cura	47
3.3. Ensaio do Concreto no Estado Fresco.....	50
3.3.1. Slump test	50
3.3.2. Ensaio do Concreto no Estado Endurecido	51
3.3.3. Resistência Compressão	51
3.3.4. Módulo de Elasticidade	52
3.3.5. Resistência a Tração na Flexão.....	53
3.3.6. Ensaio de Capilaridade do concreto.....	55
3.3.7. Resistência ao Desgaste Abrasão	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1. Resistência à compressão	58
4.2. Módulo de Elasticidade	61
4.3. Resistência a Tração na Flexão.....	63
4.4. Absorção por Capilaridade	65
4.5. Resistencia ao Desgaste Abrasão	69

5. CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE	81
APÊNDICE A – Tabela com valores encontrado a partir dos ensaios de compressão dos concretos	82
APÊNDICE B – Tabela com valores encontrado a partir dos ensaios de módulo de elasticidade dos concretos	83
APÊNDICE C – Tabela com valores encontrado a partir dos ensaios de tração na flexão dos concretos.....	84
APÊNDICE D – Tabela com valores dos ensaios de absorção por capilaridade dos concretos.....	85
APÊNDICE E – Tabela com valores encontrado a partir do ensaio de resistência ao desgaste abrasão dos concretos	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os pisos industriais de concreto apresentaram um grande desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, pois a busca por pisos mais resistentes com um desempenho satisfatório no que se diz respeito a sua resistência à cargas e desempenho da superfície ao desgaste por abrasão, se fez necessária no mercado de pisos industriais (VIECILI, 2007).

O piso é parte vital para a indústria e também o mais vulnerável a patologias. No setor industrial para repará-lo é necessário interromper a produção para executar as melhorias, isto significa perdas para a indústria (VIECILI, 2007).

Nas indústrias o piso de concreto tem que apresentar qualidade, durabilidade e planicidade, essas propriedades são estabelecidas pela dosagem dos materiais, qualidade da concretagem e execução das juntas (ACI, 1996).

Sabendo que o concreto é o material mais utilizado no ramo da construção civil mundialmente e o mercado vem aumentando as suas exigências no que se diz respeito a resistência e seu desempenho estrutural, isso gerou a necessidade de se produzir concretos com resistências maiores quando comparadas as do concreto convencional. Neste contexto muitos pesquisadores da área buscam por materiais alternativos e sustentáveis, que visam manter ou melhorar as propriedades do concreto (BARBOSA, 2006).

O aproveitamento de resíduos industriais vem impulsionando as pesquisas, pois nos últimos anos teve um aumento de descartes de rejeitos além de problemas causados pela exaustão de matérias-primas, o aproveitamento destes resíduos além de reduzir os impactos ambientais gera a redução de custos nas indústrias (GUIMARÃS, 2010).

Conforme Barbosa (2006) resíduos como a CCA ganham destaque no sistema de reciclagem. A incorporação da CCA como um material da construção civil apresenta inúmeras vantagens, pois este material tem propriedades pozolânicas altamente reativas, enriquecendo o desempenho do produto final.

A incorporação de fibras na matriz cimentícia apresenta um grande destaque no que diz respeito a melhorias agregadas ao concreto, este que é caracterizado como material frágil, passa a apresentar comportamento pseudo-dúctil, melhorando as propriedades de tração na flexão e a resistência à abrasão (GUIMARÃES, 2010).

A utilização de fibras de polipropileno em elementos em que apresentam grande área superficial, onde ocorre a retração por secagem, se torna muito vantajosa, pois impede as trincas e fissurações nas primeiras horas (BERNARDI, 2003).

Seguindo nessa proposta de obter um concreto de maior resistência e menor desgaste superficial, o uso de materiais pozolânicos, como a CCA, melhoram a matriz do concreto, aumentando a resistência já nas primeiras idades e melhorando nas idades mais avançadas além de melhorar pontos de durabilidade. Neste contexto este trabalho visa estudar o uso da cinza de casca de arroz em pisos industriais de concreto reforçados com fibra de polipropileno.

1.2 Justificativa

Soluções cada vez mais inovadoras vem sendo lançadas no mercado de pisos industriais de concreto, no entanto a evolução do conhecimento neste mercado não acompanha o surgimento dessas soluções (VIECILI, 2007).

A utilização de materiais pozolânicos tem a capacidade de interferir nas propriedades mecânicas das argamassas e concretos, contribuindo para o aumento de resistência a compressão, além de diminuir a permeabilidade de agentes agressivos e melhorar a durabilidade do concreto (TASHIMA, 2006).

Estes materiais pozolânicos são provenientes de outros setores, este sendo o caso da cinza de casca de arroz, que vem se mostrando através de estudos de diversos pesquisadores, como Guimarães (2010), Ferreira (1997) e Silva (2007) onde os resultados mostram a CCA um material satisfatório na produção de concretos de alto desempenho.

O uso de fibras de polipropileno ajuda a combater a fissuração que geralmente acontecem nas primeiras horas após a concretagem de grandes planos, que hoje se fazem cada vez maiores na busca de diminuir o número de juntas, estas que são as grandes causadoras de patologias em pisos, além disso o uso de fibras no concreto melhora a resistência abrasão (BERNARDI, 2003).

Portanto pelo desenvolvimento do mercado de pisos de concreto e pela falta de novos conhecimentos científicos referente a propriedade destes novos materiais, pode-se concluir que há necessidade de novas pesquisas nesta área.

1.3 Hipótese

A resistência mecânica e de durabilidade de concretos reforçados com fibra de polipropileno podem ocasionar melhoras em seus resultados através da substituição do teor de cimento por diferentes porcentagem de SCA. Para este estudo será utilizado um traço referência e à partir desse será substituído a quantidade de cimento

por teores de SCA em 10%, 20% e 30% em volume de material de modo que não altere a relação água/cimento.

1.4 Delimitação

A pesquisa fica restrita ao uso de um único tipo de aditivo superplastificante da marca “Grace”, conhecido comercialmente como “ADVA™ CAST 525”, um único tipo de cimento Portland CP V – ARI - RS, ao uso de fibras de polipropileno, a SCA produzida pela empresa PILECCO, aos agregados da região do Vale do Taquari e uma única relação de água/cimento.

1.5 Organização do trabalho

O trabalho é organizado em cinco capítulos, sendo que o primeiro capítulo foi destinado a introdução do assunto abordado, juntamente com a justificativa do tema e em seguida os objetivos a serem alcançados com esta pesquisa.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico da pesquisa, contendo abordagens sobre os diferentes tipos de pisos de concreto, com foco em pisos industriais, além de abordar sobre as diferentes fibras e suas características e o uso da sílica de casca de arroz como material pozolânico.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a elaboração dos experimentos, bem como os materiais que foram utilizados para a realização desta pesquisa. O capítulo 4 se atém a expor os resultados e analisá-los de modo comparativo aos diferentes traços e seus resultados, sendo estes ensaios de compressão, tração na flexão, desgaste por abrasão, módulo de elasticidade e de capilaridade destes concretos.

Por fim o capítulo 5 consta as considerações finais do presente trabalho, considerando o objetivo do mesmo e propondo novas pesquisas que possam agregar conhecimento no assunto.

1.6 Objetivos

Neste item são apresentados os objetivos do trabalho, subdivididos em objetivo geral, destacando o foco principal da pesquisa, e objetivos específicos, mostrando cada ponto que se deseja enfatizar com o estudo.

1.6.1 Objetivo geral

O objetivo geral é avaliar a influência de diferentes teores de sílica de casca de arroz (SCA) no traço de concreto reforçado com fibra de polipropileno, tendo como foco o desempenho mecânico e a durabilidade deste concreto.

1.6.2 Objetivo específicos

Diante do objetivo principal do trabalho, foram definidos os objetivos específicos, que delimitam um conjunto de fatores que caracterizam o comportamento mecânico de pisos industriais com uso de SCA e fibras de polipropileno, são eles:

- Realizar a caracterização dos materiais utilizados no estudo;
- Avaliar o efeito da substituição de cimento por diferentes teores de SCA em concreto para pisos industriais;
- Avaliar a resistência do concreto quando submetidos aos ensaios de resistência a Compressão, tração na flexão, abrasão e módulo de elasticidade;

- Avaliar a sua capacidade de absorção através do ensaio de Capilaridade do concreto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Piso industrial

A necessidade das indústrias de assegurar elevados índices de produtividade e reduzir a perda com as paradas para manutenções impôs uma revolução nos projetos para os pisos industriais (KANAMURA, 2009).

Conforme Viecili (2007) em decorrência da exigência do mercado industrial, nos últimos anos engenheiros e técnicos avaliaram as patologias nestes pisos, estudos foram realizados para minimizar estes problemas e uma gama de quesitos foram considerados, tais como, o desempenho da estrutura, a estética e a durabilidade. O autor ainda diz que em decorrência das condições de produção se torna muito mais vulnerável as patologias, com isso deve-se avaliar bem os critérios para o dimensionamento.

Segundo Nakamura (2009) a utilização de equipamentos mecânicos, mais comumente as empilhadeiras, fez com que as cobranças aumentassem para os projetistas, pois além de pisos planos, os mesmos têm que apresentar alta resistência abrasão e aos esforços que podem ocorrer.

O princípio utilizado inicialmente no Brasil foi o sistema de Damas, onde era composto por pequenas placas de concreto, isso acarretava em várias patologias. Nos últimos 20 anos ocorreu um grande avanço no sistema, as dimensões das placas aumentaram significadamente e a espessura reduziu, sendo possível distanciar as

juntas até 70 metros (BINA, 2009). A utilização de fibras, sejam elas metálicas ou sintéticas, vêm contribuindo para o bom desempenho nos pisos industriais sem juntas, chamados de *jointless*. Etipo de piso é indicado para pavilhões com a finalidade de estocagem de produto ou material, pois as empilhadeiras apresentam as rodas rígidas o que pode acarretar o esborcinamento, ou seja, a quebra das bordas das juntas (MATTOS, 2004).

Mattos (2004) cita uma frase dita pelo engenheiro líder do núcleo de especialistas em pavimentação da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), onde ele diz que, isso demonstra o tão complexo que é o projeto e a execução de pisos industriais, mesmo que a semelhança seja imensa entre duas obras a solução adotada para uma pode não ser a melhor para a outra.

2.1.1 Tipos de pisos industriais

No mercado existem uma diversidade de tipos de pisos para as indústrias, nesta pesquisa será levantado algumas categorias, sendo estas consideradas as mais usuais:

- a) Piso em concreto simples;
- b) Piso em concreto armado com telas metálicas;
- c) Piso em concreto protendido;
- d) Piso em concreto reforçado com fibras.

2.1.1.1 Piso em concreto simples

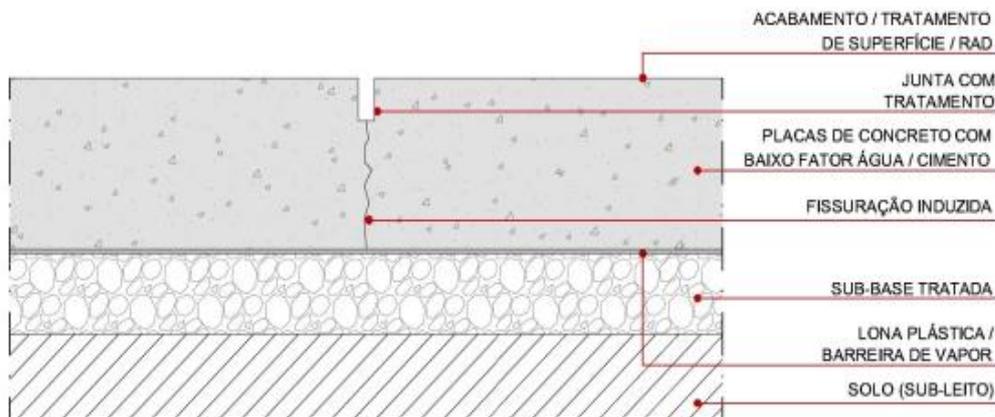
Para o sistema de dimensionamento de pisos em concreto simples os esforços de tração que são gerados pela variação térmica, carregamentos e pela retração são resistidos pelo próprio concreto (VIECILI, 2007).

Este sistema de piso é formado por placas de concreto com pequenas dimensões. As juntas são dimensionadas com a finalidade de evitar a retração,

dilatação ocasionada pela variação térmica além de evitar o empenamento das placas (CRISTELLI, 2010). O autor complementa dizendo que este tipo de piso pode ter ou não barras de aço para a transferência de esforços entre as placas.

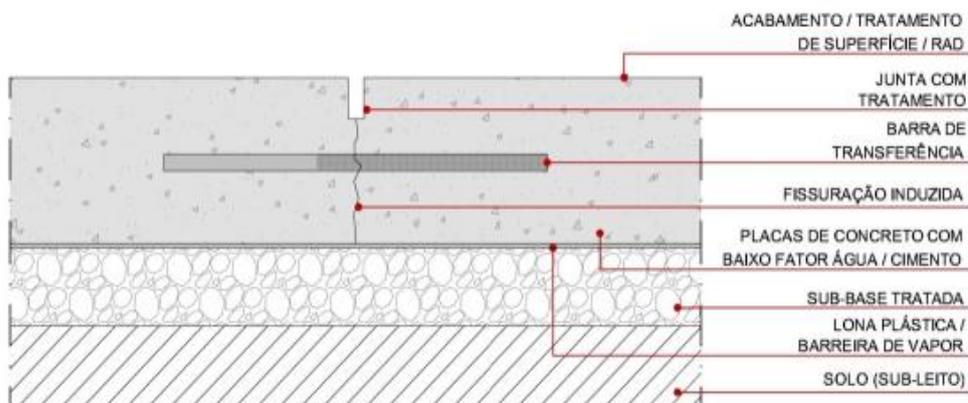
A representação desse tipo de piso em concreto simples sem barra de transferência e piso em concreto simples com barra de transferência estão esquematizados nas figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 - Piso de concreto simples sem barra de transferência



Fonte: CRISTELLI, 2010.

Figura 2 - Piso de concreto simples com barra de transferência



Fonte: CRISTELLI, 2010.

De acordo com Nakamura (2009) esse piso apresenta como a principal vantagem a facilidade de execução, porém, é menos resistente e durável que os demais pisos de concreto. A recomendação de uso é para áreas que exigem grande

capacidade de suporte de carga, sendo assim é indicado para locais onde as juntas não prejudicam a sua vida útil do piso.

2.1.1.2 Piso em concreto armado com telas metálicas

Piso em concreto armado com telas metálicas é o sistema mais popular utilizado para os pavimentos industriais, pois a presença da tela além de controlar a fissuração tem a função estrutural do pavimento (RODRIGUES, 2003). Segundo Oliveira (2000) o uso de malhas reduz o número de juntas no dimensionamento dos pisos, assim permitindo executar placas de até 30 metros de comprimento e 6 metros de largura, sendo que o utilizado fica em torno de 15 metros quadrados.

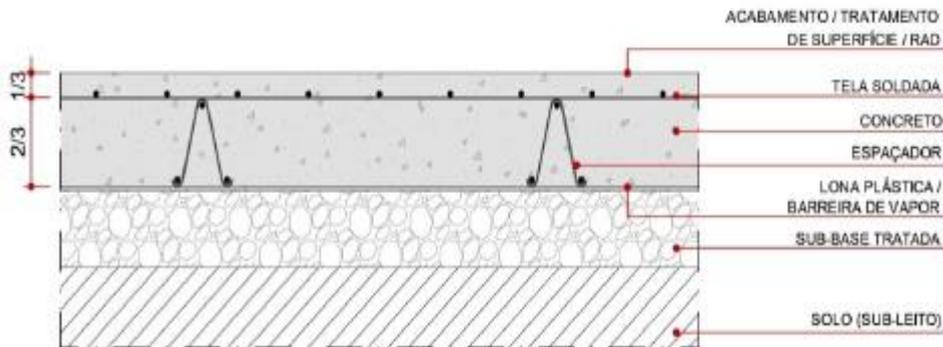
De acordo com Viecili (2007) a armadura utilizada para estes pisos é contínua, e na maioria dos casos de tela eletrosoldada¹, que pode ser do tipo, armadura simples ou duplamente armado, no dimensionamento são levados em conta os esforços de tração e da retração do concreto.

Alguns autores atestam a eficiência deste sistema contra o empenamento das placas. A armadura deve estar posicionada no terço superior da placa e apresentar 5 cm de cobertura para seu correto desempenho (CRISTELLI, 2010).

Na figura 3, está representado o correto posicionamento da armadura na placa de concreto.

¹São armaduras pré-fabricadas em forma de rede de malhas, constituída de fios de aço longitudinais e transversais, sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato (nós), por resistência elétrica (GUERDAU, 2017).

Figura 3 - Piso de concreto com armadura eletrosoldada



Fonte: CRISTELLI, 2010.

De acordo com Nakamura (2009) este tipo de piso é indicado em locais onde o solo apresenta baixa resistência, assim a armadura resiste os esforços de tração que são geradas pelo carregamento, e ainda o concreto melhora seu desempenho evitando a retração.

2.1.1.3 Piso em concreto protendido

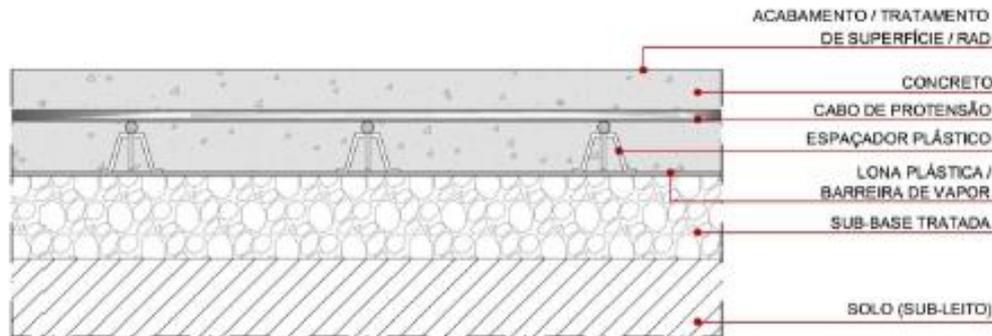
Pisos de concreto protendido não necessitam de juntas serradas², gerando a impressão de existir uma única placa de concreto isso porque o uso de cordoalhas³ engraxadas e plastificadas apresentam uma resistência á tração dez vezes maior ao vergalhão, elas são tensionadas e travadas de forma a comprimir o concreto (VIECILI, 2007).

² É o corte executado no concreto, estes cortes são concreto e a adequada transferência de carga entre placas, assegurando a planicidade e a qualidade do piso (PINI, 2004).

³ São cabos fabricados de arame de aço e muitas vezes confundidas com o cabo de aço propriamente dito, porém, possuem uma grande diferença no tratamento térmico e químico dos arames e da máquina de origem, são produzidas com arames de aço mais densos e com menos "fios" do que os cabos de aço (CABOPEC, 2017).

Conforme Bina (2002) as juntas em pisos de concreto protendido podem ficar distantes de 100 a 150 metros, de acordo com dimensionamento e viabilidade econômica. A Figura 4 esquematiza o pavimento de concreto protendido.

Figura 4 - Piso de concreto protendido



Fonte: CRISTELLI, 2010.

Este sistema vem sendo muito utilizado em centros de distribuição, indústrias alimentícias, química e farmacêuticas, pois a sua planicidade e superfície lisa, favorecem o tráfego de equipamentos móveis e diminuem o risco de contaminação (NAKAMURA, 2009).

2.1.1.4 Piso em concreto reforçado com fibras

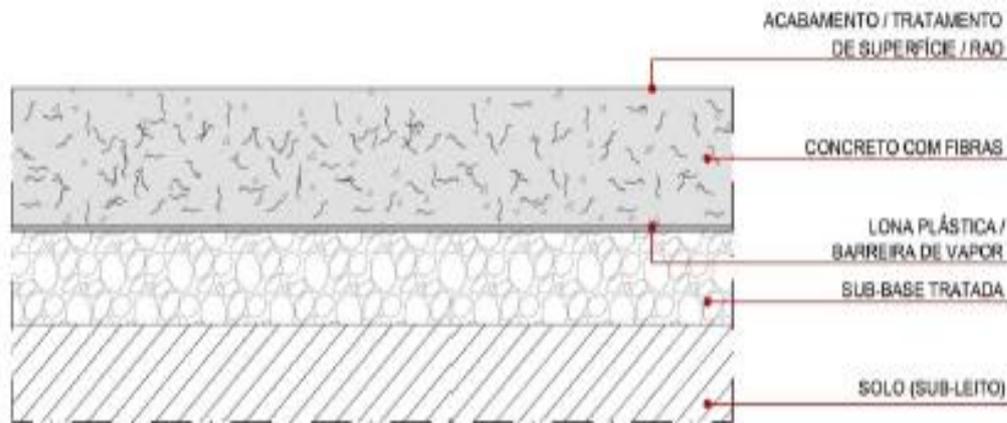
Segundo Nakamura (2009) a técnica de pisos de concreto reforçados com fibras chegou no Brasil na década de 1990, reduzindo os custos de mão-de-obra para armação e aumentando a velocidade de execução.

Conforme a definição de concreto reforçado com fibras feita por Chodounsky (2007) é uma mistura de duas fases, o concreto e a fibra, onde as propriedades são estabelecidas pelo seu comportamento estrutural.

Através de seu módulo de elasticidade, o uso de fibras pode substituir a armadura convencional, resistindo aos esforços de tração, reduzindo a fissuração, melhorando a ductilidade do material e distribuindo melhor os esforços gerados

(CHODOUNSKY, 2007). O perfil do piso reforçado com fibras está simplificado na Figura 5.

Figura 5 - Piso de concreto reforçado com fibras



Fonte: CRISTELLI, 2010.

De acordo com Viecili (2007) este tipo de concreto apresenta inúmeras vantagens, entre elas estão:

- Eliminar as etapas de colocação das armaduras;
- Otimização dos espaços de estocagem dos materiais no canteiro de obras;
- Processo simplificado para a concretagem;
- Diminuem-se os riscos de patologias causados pela corrosão;
- Processo simplificado na execução das juntas.

O controle tecnológico do concreto deve ser muito cuidadoso, sua distribuição deve ser homogênea para evitar os “ouriços” (aglomeramento de fibras) durante a concretagem (VIEVILI, 2007).

2.1.1.5 Classificação das categorias de pisos de concreto

O Comitê do Instituto Americano de Concreto (ACI) distribui em nove categorias distintas os pisos de concreto, levando em consideração o tipo de tráfego, aspecto

estético, tratamento e acabamento superficial. Esta classificação está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos tipos de concreto, conforme a ACI 302 (ACI, 2004)

Classe	Tipo de tráfego previsto	Uso	Considerações especiais	Técnicas de acabamento
1. Pisos de camada única (Monolítico)	Superfície exposta - tráfego de pedestres.	Prédios comerciais, oficinas, igrejas, múltiplas residências;	Acabamento uniforme, uso de agregados anti-derrapantes em áreas específicas, cura.	Normal, com pá metálica, anti-derrapante onde necessário.
		Uso decorativo.	Agregado mineral colorido ou agregado exposto, estampado ou decorativo, layout de juntas artísticas,	Como requerido.
2. Pisos de camada única (Monolítico)	Superfície revestida - tráfego de pedestres.	Prédios comerciais, igrejas, múltiplas; residências; uso com o capa/revestimento de piso.	Placa plana e nivelada compatível com aplicação do revestimento, cura.	Leve acabamento com pá metálica.
3. Pisos de camada dupla	Superfície exposta ou revestida - tráfego de pedestres.	Capa (não) aderida sobre a placa base para construções comerciais ou não industriais	Placa base - uniforme, plana, cura. Capa não aderida - isolamento sobre placa base, espessura mínima 75 mm reforçada, cura. Capa aderida	Placa base - acabamento sobre face não aderida (limpeza, superfície texturada sobre face aderida).
4. Pisos de camada única (Monolítico)	Superfície exposta ou coberta - tráfego de pedestres e/ou veículos leves.	Institucional ou comercial.	Placa plana e nivelada compatível com aplicação do revestimento, agregados anti-derrapantes em áreas específicas, cura.	Normal, com pá metálica.
5. Pisos de camada única (Monolítico)	Superfície exposta - tráfego de veículos industriais (rodas pneumáticas, levemente rígidas).	Pisos industriais para produção, processamento, estocagem.	Boa uniformidade de sub-base, disposição de juntas, resistência à abrasão, cura.	Intenso acabamento com pá metálica.

Classe	Tipo de tráfego previsto	Uso	Considerações especiais	Técnicas de acabamento
6. Pisos de camada única (Monolítico)	Superfície exposta - tráfego de veículos industriais pesados (rodas rígidas, com intenso carregamento sobre rodas).	Pisos industriais sujeitos a tráfego pesado: podendo ser sujeitos a impactos.	Boa uniformidade de sub-base, disposição de juntas, transferência de carga, resistência à abrasão, cura.	Endurecedor superficial à base de agregados minerais ou metálicos; acabamento intenso com pá metálica.
7. Pisos de camada dupla	Superfície exposta - tráfego de veículos industriais pesados (rodas rígidas, com intenso carregamento sobre rodas).	Camada dupla de piso aderido sujeito a tráfego pesado e impacto.	Placa base - sub-base uniforme, reforço, paginação de juntas, superfície nivelada, cura. Endurecedor de superfície à base de agregado mineral ou metálico aplicado para superfície plana de alta resistência,	Limpeza, leve textura da superfície de placa base. Acabamento com pá metálica.
8. Pisos de camada dupla.	Idem às classes 4, 5 e 6.	Capa (não) aderida - pisos novos ou velhos ou onde sistema a construtivo ou prazos exigir.	Isolamento sobre placa base, espessura mínima 100 mm, resistência à abrasão, cura.	Idem às classes 4, 5 e 6.
9. Pisos de camada única (Monolítico) ou Capa	Superfície exposta (extremamente plana ou com padrões de planicidade críticos). Veículos transportadores de materiais especiais	Corredores estreitos, armazéns (cargas elevadas), estúdios de televisão, ringues de gelo, ginásios. Orientações de projeto (Norma ACI 360R).	Especificações da qualidade do concreto variadas. Endurecedores não podem ser usados sem aplicações especiais e grandes cuidados de instalação aplicadas. FF 50 e FL 25 (pisos superplanos). Cura.	Seguir rigidamente as técnicas de acabamento indicadas na seção 8.9.

Fonte: ACI 302, 2004.

O ACI 302 (1996) faz indicações sobre a resistência a compressão e de abatimento do concreto aos 28 dias de acordo com cada classe de piso, conforme indicada pela Tabela 1.

Tabela 1 - Especificação de resistência a compressão e abatimento para o concreto

Classe de piso	Resistência característica aos 28 dias (MPa)	Abatimento máximo (mm)
1,2 e 3	21	125
4 e 5	28	125
6	31	125
7 base	24	125
7 capa aderida	35-55	75
8 capa não – aderida	28-55	75
9 superplano	26 ou mais	125

Fonte: ACI 302, 2004.

Além dos preceitos do Comitê 302 do ACI, Viecili (2007) complementa dizendo que piso de concreto é muito comum em construções, podendo ser uma estrutura muito simples ou muito complexa, então deve-se observar as finalidades destes pisos e assegurar resistência aos seguintes parâmetros:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo carregamento;
- b) Proporcionar perfeito rolamento, quanto ao conforto, limpeza e segurança das cargas móveis (paleteiras, empilhadeiras), possuindo textura adequada à futura utilização;
- c) Resistir aos esforços mecânicos e a ataques químicos ou biológicos.

2.1.2 Carregamentos em pisos industriais

Ao dimensionar o piso de concreto, uma análise dos possíveis tipos de cargas deve ser realizada, estas cargas podem ter diferentes ações no elemento estrutural (GUIMARÃES, 2010). Com foco em pisos industriais, estes podem apresentar

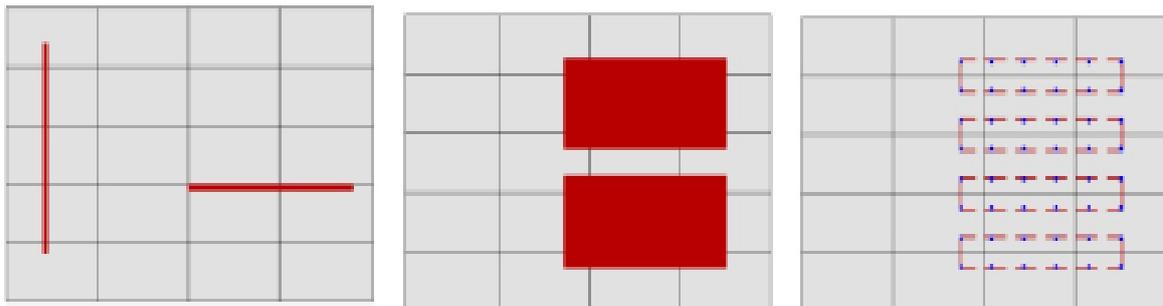
carregamentos estáticos e dinâmicos e podem ser estudados através da planta baixa de layout da indústria.

2.1.2.1 Cargas Estáticas

Carregamentos estáticos são compostos pelas cargas lineares, distribuídas e pontuais. Esta classificação é baseada na distribuição dos esforços nas diferentes áreas, através das solicitações de tração-compressão, momentos fletores e as forças cortantes aplicadas nas placas de concreto (CRISTELLI, 2010).

Estes carregamentos podem ser gerados por estantes de estocagem, maquinário industrial entre outros elementos fixos, carregamentos estáticos estão representados na figura 6.

Figura 6 - Carregamentos estáticos - lineares, distribuídos e pontuais, respectivamente



Fonte: CRISTELLI, 2010.

2.1.2.2 Cargas Dinâmicas

As cargas dinâmicas são as grandes causadoras das patologias em pisos de concreto, estas cargas são caracterizadas pelo tráfego de empilhadeiras e o impacto dos paletts de madeira no piso (VIECILI, 2007). A figura 7 ilustra um maquinário muito utilizado na estocagem de materiais.

Figura 7 - Maquinário de operação de estocagem industrial



Fonte: CRISTELLI, 2010.

Para pisos onde é necessário o uso deste maquinário, a indicação feita sobre o número de juntas é que este seja reduzido o máximo possível, pois são os locais onde as patologias causadas pela quebra das bordas das juntas são mais agravadas (CRISTELLI, 2010). Para a análise estrutural, o eixo mais carregado, o tipo de roda e o número de rodas das máquinas (VIECILI, 2007).

2.2 Fibras

Em busca constante de novos materiais, pesquisadores da área da construção apostam no reforço com fibras pois suas características para diminuir patologias mostra-se muito eficiente nos últimos anos, mas deve-se conhecer o mecanismo entre a fibra e a matriz, assim como as características das diferentes fibras que hoje estão disponíveis no mercado. A adição de fibras na matriz cimentícia melhora significadamente as suas propriedades.

Segundo Bernardi (2003), a escolha do tipo de fibra a ser utilizada vai resultar nas variações das propriedades mecânicas do concreto, assim cada composição

resultará em diferentes ganhos de resistência mecânica, ductilidade, abrasão e controle da fissuração.

As vantagens mais significativas que se pode notar através da adição de fibras são o aumento da tenacidade e o aumento da resistência à tração (GARCEZ, 2005). Ainda segundo a autora, outra característica que as fibras apresentam quando adicionada ao concreto é a melhora da resistência ao impacto, suportando assim a colisão em número maior de vezes.

Para a inclusão das fibras não existem apenas vantagens, alguns problemas podem surgir. A trabalhabilidade é afetada negativamente, não envolvendo o tipo de fibra incorporado, problemas como à incorporação de ar, além das fibras intertravarem. Isso ocorre pois, a inclusão de fibras, majora a área específica dos materiais e o aumento da área específica diminui o teor de água para o abatimento (GUIMARÃES, 2010; MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Figueiredo (2000) as fibras adicionadas ao concreto apresentam características pseudo-dúctil. Isto ocorre pelo fato da fibra servir como ponte de transferência de tensões através das fissuras, diminuindo a concentração de tensões nas extremidades das mesmas.

Conforme Guimarães (2010) existem parâmetros que iram influenciar as características do concreto quando reforçado com a adição das fibras, como o teor adicionado, a geometria da fibra, sua distribuição, orientação, a resistência e seu módulo de elasticidade.

Teores muito elevados de fibras podem afetar a trabalhabilidade podendo danificar o concreto, pois quanto mais fibras adicionadas a mistura, mais resistente contra a fissuração o concreto se apresentara, e assim a sua tenacidade é influenciada diretamente (BENTUR e MINDESS, 1990 *apud* NUNES, 2006).

Segundo Guimarães (2010) as propriedades das diferentes formas e seções que os diferentes tipos de fibras podem apresentar em relação ao comprimento da fibra e seu diâmetro. Através destas propriedades, é possível analisar a fibra mais indicada para uma certa matriz cimentícia.

2.2.1 Módulo de elasticidade

Segundo Figueiredo (2005) o módulo de elasticidade é umas das características mais relevantes na escolha da fibra, pois esta vai indicar algumas características que agirão em alguns pontos da matriz, como o comportamento pré e pós-fissuração. O módulo de elasticidade da fibra é maior que o da matriz, a carga é transferida para as fibras, aumentando a rigidez do concreto. A Tabela 2 apresenta as características de diferentes fibras disponíveis no mercado.

Tabela 2 - Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade.

Material	Diâmetro (μm)	Massa Específica (g/cm^3)	Módulo de (GPa)	Resistência à (GPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5-500	7,84	190-210	0,5-3,5	0,5-3,5
Vidro	9,0-15,0	2,6	70-80	2-4,0	2-3,5
Amianto	0,02-0,04	2,6	160-200	3-3,5	2-3,0
Polipropileno	20-200	0,9	1-7,7	0,5-0,75	8
Kevlar	10	1,45	65-133	3,6	2,1-4,0
Carbono	9	1,9	230	2,6	1
Nylon	-	1,1	4	0,9	13-15
Celulose	-	1,2	10	0,3-0,5	-
Acrílico	18	1,18	14-19,5	0,4-1,0	3
Polietileno	-	0,95	0,3	0,0007	10
Fibra de madeira	-	1,5	71	0,9	-
Sisal	10,0-50,0	1-50,0	-	0,8	3
Matriz de cimento	-	2,5	10,0-45,0	0,0037	0,02

Fonte: BENTUR; MINDESS,1990 apud FIGUEIREDO, 2000

As fibras são divididas em dois grupos, em fibras com alto módulo de elasticidade e fibras de baixo módulo de elasticidade. As fibras metálicas são exemplos de fibras que possuem um alto módulo, as fibras de sintéticas possuem um baixo módulo de elasticidade, (BERNARDI, 2003).

2.2.2 Fibra com alto módulo de elasticidade

Fibras com alto módulo de elasticidade, como as de aço, são frequentemente utilizadas como reforço em pisos industriais, pavimentos, túneis, elementos pré-fabricados, concretos projetados, entre outras estruturas. Através desta característica, as fibras de aço melhoram significativamente a capacidade do concreto de absorver energia (BERNARDI, 2003).

Fibras de aço podem ter variadas formas, tamanhos e tipos de ancoragens. Em relação a geometria das fibras de aço, elas podem variar entre 0,025m e 0,075m. Os fatores de forma variam entre 20 a 100, mas os fatores de forma mais utilizados para pisos industriais são os de 60 e 80 (FRANCO, 2008).

2.2.3 Fibra de Polipropileno

Fibras de origem polimérica tem um baixo módulo de elasticidade, e apresentam baixo custo. As características principais das fibras de polipropileno são a inércia e a alta resistência ao ataque químico, além da baixa densidade quando comparada com outros materiais (GARCEZ, 2005).

São dois os tipos básicos de fibras de polipropileno: monofilamentos e fibriladas. As fibriladas, são apresentadas como uma malha de finos filamentos de seção retangular, com isso a estrutura aumenta de adesão entre a fibra e a matriz, devido a um efeito de intertravamento (BERTUR E MINDESS, 1990). As fibras de monofilamento apresentam fios cortados em comprimento padrão.

Dentre as vantagens que a fibra pode proporcionar ao comportamento do concreto está o fato de impedir a formação de trincas e fissuras nas primeiras horas (BERNARDI, 2003).

No estudo desenvolvido por Rodrigues e Montardo (2002) analisando a influência da fibra de polipropileno nas primeiras idades, quando empregada ao uso de pisos industriais e pavimentos rígidos, teve como resultados que mesmo em teores

abaixo de $0,45\text{kg/m}^3$ o uso desta fibra já desenvolve a redução de fissuração, no entanto se utilizada uma dosagem entre $0,45\text{kg/m}^3$ e $0,90\text{kg/m}^3$ essa redução fica bem acentuada e quando o teor for de $0,90\text{kg/m}^3$, praticamente não surgem fissuras.

Segundo Bernardi (2003) em elementos que apresentam uma grande área superficial, onde deficiências em relação a retração por secagem ocorrem facilmente, a aplicação das fibras de polipropileno se torna vantajosa. A Figura 8 apresenta o concreto reforçado com fibras de polipropileno.

Figura 8 - concreto reforçado com fibra de polipropileno



Fonte: autora, 2017

2.3 Uso de CCA como Material Pozolânico

O processo da queima da casca de arroz gera como resíduo a sua cinza que segundo Pouey (2006) é cerca de 20% do volume da casca do cereal, a qual destinada a aterros, pois é considerada resíduo agroindustrial, este descarte gera danos ao meio ambiente, poluindo mananciais, ar e o solo.

A utilização da CCA como material pozolânico tem sido estudada por diversos pesquisadores da área da Construção Civil. De acordo com Foletto (2005) existem variados usos para este material sustentável, a utilização da sílica pura vem sendo

utilizada para a fabricação de vidro, cerâmicas, tijolos. O uso em concretos melhora as propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

A CCA, de acordo com Pouey (2006) é enquadrada em duas classificações, sendo que quando o processo de queima é controlado é constituída de sílica amorfa e quando não há este controle é considerada uma sílica cristalina.

Outros fatores influenciam na pozolanicidade da CCA, tais como o alto conteúdo de sílica é a área superficial elevada e diâmetro médio, este sendo geralmente menor a 45 μ m (BARBOSA, 2006).

A influência da temperatura de queima interfere no diâmetro médio, sobre a superfície específica e ainda sobre a atividade pozolânica da cinza de casca de arroz (FERREIRA, 1997). A autora em seu estudo avaliou o crescimento da superfície específica da CCA queimada conforme o aumento de temperatura de queima que foi de 800°C e 1100°C, sendo que estas foram moídas a 1,5 e 3 horas.

Além de Ferreira (1997) outros autores mostraram as melhorias de resistência mecânica e da durabilidade ocasionadas através da moagem da cinza residual.

2.3.1 Propriedades da CCA quando adicionada ao concreto

Composta por basicamente sílica, a cinza da casca de arroz tem sua atividade pozolânica relacionada com o processo da queima controlada, com sua coloração variando com o teor de carbono contido na cinza (Pouey, 2006).

Conforme Mehta (1992) quando à adição da CCA é realizada em concreto no estado fresco ocorre uma melhora significativa nas propriedades deste concreto, assim como a capacidade de reduzir a segregação e a exudação, melhorando a trabalhabilidade do composto.

Nenhum outro material pozolânico tem habilidade de favorecer o aumento de resistência nas primeiras idades, agindo como acelerador de resistência (MEHTA, 1992). O autor complementa dizendo que é possível substituir até 70% do cimento por

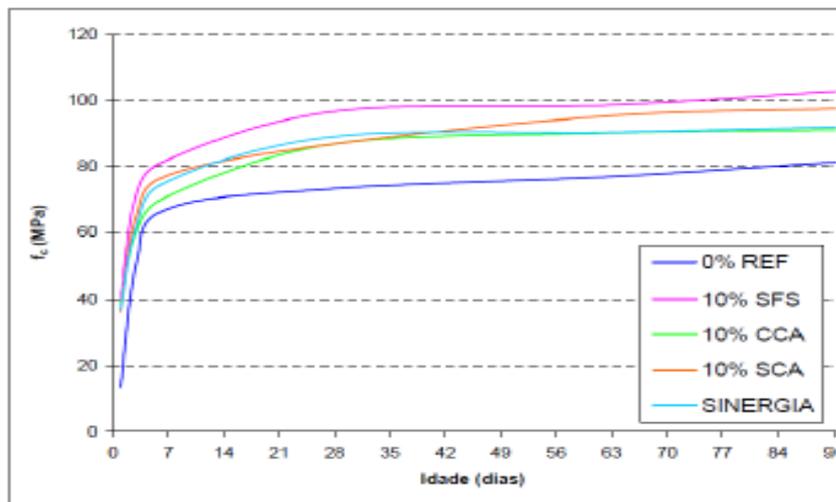
CCA, mas basta entre 10% e 20% para que o concreto melhore sua resistência mecânica, além de diminuir sua permeabilidade em relação aos agentes agressivos.

Alguns pesquisadores observaram a influência de diferentes teores de substituição do cimento pela CCA e seus efeitos nas propriedades do concreto, estas estão relacionadas a sua resistência mecânica e a durabilidade.

Hoppe (2005) desenvolveu um estudo sobre a influência do teor de CCA sobre a resistência à compressão do concreto em diferentes idades. Os teores utilizados foram de 10%, 20% e 30% de CCA. O autor pode observar um acréscimo nos valores de resistência à compressão, de 26%, 9% e 27% respectivamente. Esta análise realizada demonstra que o uso da CCA melhora as propriedades a compressão do concreto.

Rêgo (2002), em seu estudo utilizando CCA residual para a análise da resistência à compressão do concreto, substituiu o cimento em diferentes teores, 0,5%, 10% e 20%. Em seus resultados estão apresentados os respectivos aumentos de resistência, estes valores estão apresentados no gráfico 1.

Gráfico 1 - Diagrama de resistência à compressão x tempo



Fonte: COSTENARO, 2003

Neste estudo realizado por Rêgo (2002), ainda pode-se analisar a necessidade de um tempo maior para o desenvolvimento das reações pozolânicas no concreto. Os índices de 10% e 20%, apresentaram aumento de resistência aos 63 dias, quando

comparados aos resultados obtidos aos 28 dias. Isto se deve a CCA ter uma reatividade química mais lenta que o cimento e o seu maior potencial pozolânico se dá em idades mais avançadas.

Segundo Santos (1997) a cinza de casca de arroz pode influenciar não apenas a resistência à compressão do concreto, mas também na retenção de água, na retração, fissuração e fluência do concreto.

O efeito da CCA no concreto, sobre o ensaio de resistência à abrasão foi realizado por Nascimento (2002), em comparação a um traço referência foram substituídos teores de cimento na ordem de 0,5% e 10% por CCA. O autor verificou que houve um aumento de perda de massa de concreto a medida que os teores de CCA aumentavam em relação ao traço de referência.

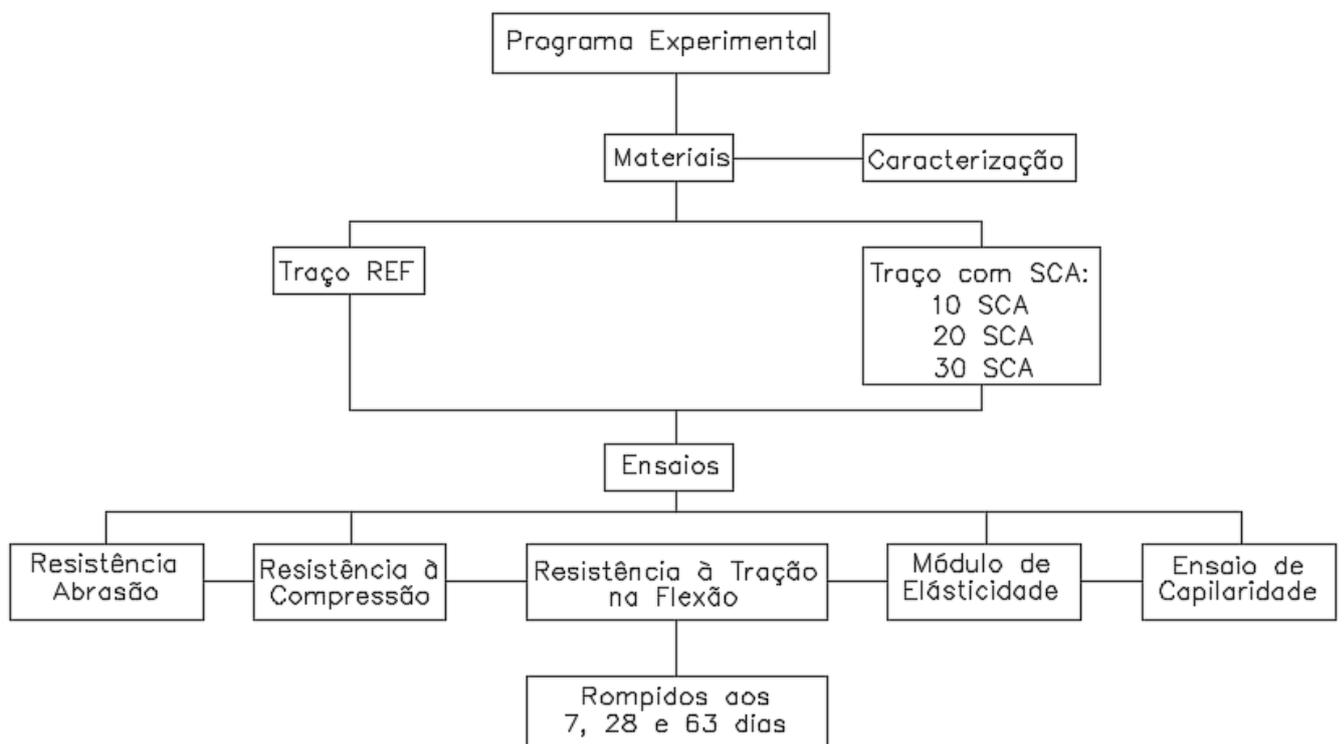
O uso de pozolâneas extremamente finas e reativas, deve ter a dosagem do aditivo muito bem controlada, pois elas possuem maior dificuldade de dispersão, de acordo com Silva (2007). Por este motivo o uso de aditivo superplastificante não apenas para obter uma boa trabalhabilidade, mas também pela boa dispersão dos grãos no concreto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os objetivos propostos nesse trabalho, foi desenvolvido um programa experimental com os materiais a serem empregados, equipamentos, ensaios propostos pelas respectivas normas brasileiras.

Parâmetros de resistência e durabilidade dos diferentes traços ensaiados foram analisados nas idades de 7, 28 e 63 dias. A Figura 9 ilustra as etapas do programa experimental, aonde compreende desde a caracterização dos materiais à ensaios propostos para a análise a ser realizada nos pisos industriais.

Figura 9 - Fluxograma para o programa experimental



Fonte: elaborado pela autora

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para esta pesquisa e suas respectivas propriedades estão descritas a seguir.

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CPV-ARI-RS, sendo este um cimento de alta resistência, tanto inicial quando nas idades finais, da marca Itambé. Apresenta como característica a durabilidade aos sulfatos, ou seja é resistente a meios agressivos.

O produto cumpre com as exigências da NBR-5737 (ABNT, 1992 – Cimento Portland resistente a sulfatos) e é indicado para o uso de concretos de alto desempenho e resistente a meios agressivos, pois já nas primeiras idades obtenham-se valores de desempenho elevados.

A massa específica do cimento é um dado utilizado no cálculo de dosagem visto que a substituição das porcentagem se deram em volume de material. O ensaio foi realizado de acordo com que a NBR NM 23 (ABNT, 2001) estabelece, utilizando o frasco de Le Chatelier. O valor encontrado a partir do ensaio foi de 3026kg/m³, sendo este valor muito próximo ao que os fabricante fornecem.

3.1.2 Água de Amassamento

A água utilizada para a mistura do concreto é proveniente da rede de abastecimento público da CORSAN, no município de Lajeado/RS.

3.1.3 Areia Média

A areia utilizada é uma areia média de origem natural, extraída na região do

Vale do Taquari, e fornecida pelo LATEC (Laboratório de Tecnologia de Construção) da Univates, em Lajeado/RS, que cumpre aos requisitos da NBR-7225 (ABNT, 1993 – Materiais de pedra e agregados naturais).

As areias foram coletadas e submetidas ao processo de secagem em estufa, com temperatura entre 105°C e 110°C, conforme o que diz na NBR 248 (ABNT, 2002), durante um período de 15 a 20 horas, evitando assim que a umidade nelas contidas interfira nos resultados obtidos.

O ensaio da Composição Granulométrica da areia foi realizado conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a realização deste ensaio utilizou-se uma série normal de peneiras sucessivas com as aberturas das malhas estabelecidas pela Norma, a composição granulométrica e as características da areia pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização da areia média

Abertura Peneira (mm)	Percentual retido (%)	Percentual Acumulado (%)
9,52	0	0
6,35	0,8	0,8
4,75	2,1	2,9
2,4	6,96	9,86
1,18	8,6	18,46
0,6	9,14	27,6
0,3	28,94	56,54
0,15	41,38	97,92
Fundo	2,08	100

Módulo de finura: 2,14

Massa específica da Areia (g/cm³): 2,63

Dimensão Máxima característica (mm): 4,75

Fonte: Autora, 2017.

Para a caracterização da areia foi realizado o ensaio para determinar a massa específica e massa específica aparente seguindo a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Conforme definição da Norma, massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Já a massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

3.1.4 Agregados graúdos

Os agregados graúdos utilizados são provenientes da região do Vale do Taquari e fornecidos pelo LATEC da Univates, no traço do concreto teve a utilização da brita 0, para que juntamente com a brita 1 e demais agregados torne o traço mais homogêneo, diminuindo os vazios internos.

Segundo a NBR-7225 (ABNT, 1993), a brita 0 é delimitada com dimensão entre 4,5 a 9,5mm, a brita 1, que segue a normativa supracitada, é delimitada através da abertura de peneiras quadradas com tamanho mínimo de 4,8mm e tamanho máximo de 12,5mm.

Para a caracterização dos agregados a realização dos ensaios para determinar a massa específica e massa Unitária se fez necessária, seguindo a NBR NM 53 (ABNT, 2009). A NBR NM 45 (ABNT, 2006) estipula o método de ensaio para determinação das massas unitárias e do volume de vazios dos agregados, conforme definição da Norma massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Já a massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

Na Tabela 4 e 5 pode-se visualizar a granulometria da brita 1 e da brita 0 respectivamente.

Tabela 4 - Caracterização da brita 1

Abertura Peneira (mm)	Percentual retido (%)	Percentual Acumulado (%)
31,5	0	0
25	2,44	2,44
19	44,915	47,355
12,5	39,37	86,725
9,5	8,48	95,205
6,3	4,275	99,48
4,75	0,4	99,88
Fundo	0,12	100

Módulo de finura: 7,49

Massa específica da Brita 1 (g/cm³): 2,73

Dimensão Máxima característica (mm): 25

Fonte: Autora, 2017.

Tabela 5 - Caracterização da brita 0

Abertura Peneira (mm)	Percentual retido (%)	Percentual Acumulado (%)
9,52	2,58	2,58
6,35	39,35	41,93
4,75	29,11	71,04
2,4	27,45	98,49
1,18	1,2	99,69
0,6	0,17	99,86
0,3	0,08	99,94
0,15	0,05	99,99
Fundo	0,01	100

Módulo de finura: 7,51

Massa específica da Brita 0 (g/cm³): 2,83

Dimensão Máxima característica (mm): 9,52

Fonte: Autora, 2017.

3.1.5 Aditivo Superplastificante

O aditivo superplastificante utilizado é da marca “Grace”, conhecido comercialmente como “ADVA™ CAST 525”. Segundo o fabricante, o produto permite produzir concretos com baixas relações água/ cimento, melhora a trabalhabilidade e produz concretos com alta qualidade, sendo recomendado para concretos que necessitam de boa trabalhabilidade, como neste caso pisos industriais.

Tabela 6 - Características Técnicas ADVA™ CAST 525

ADVA™ CAST 525	
Base química	Éter policarboxílico
Aspecto	Líquido
Cor	Amarelo claro
Massa específica	~1,06 kg/m ³
PH	~7,3
Teor de cloretos	Não contém

Fonte: Empresa Grace, 2017

3.1.6 Fibra de Polipropileno

A fibra para concreto que foi utilizada é conhecida no mercado como Fibertech-PP Fibra de polipropileno é da marca TEC Machine Fibras Metálicas. Conforme o fabricante a fibra apresenta distribuição uniforme melhorando a amarração do concreto, melhora a resistência ao impacto e abrasão além de reduzir as microfissuras e macrofissuras do concreto. O Quadro 2 apresenta as propriedades físicas da fibra.

Quadro 2 - Propriedades Físicas da fibra de polipropileno

Propriedades Físicas	
Produto	Polipropileno Puro
Densidade	0,93 g/cm ³
Seção	Circular 18µm
Alongamento	80%
Resistência a tração	300 Mpa
Temperatura de fusão	160°C
Comprimento	12mm e 25mm
Resistência aos alcális	Excelente

Fonte: TEC Machine Fibras Metálicas, 2017.

A fibra de polipropileno FIBERTECH-PP é indicada para aplicações em pisos industriais. A Figura 10 mostra a fibra de polipropileno.

Figura 10 - Fibra de polipropileno



Fonte: Autora, 2017

3.1.7 Sílica de Casca de Arroz

A Sílica de Casca de Arroz utilizada na composição do traço do concreto é da Empresa Pilecco (Alegrete-RS), onde a casca do arroz tem a queima controlada a uma temperatura de até 500°C, assim ocorre o aproveitamento da energia gerada pela queima.

A composição química e física desta sílica foi fornecida pela própria empresa, não sendo necessário a caracterização deste material, visto que já é um material comercial. Os Quadros 3 e 4 demonstram os resultados de caracterização da sílica de casca de arroz.

Quadro 3 - Composição química da Sílica de Casca de Arroz

Composto	Quantidade (%)
SiO ₂	90,67
K ₂ O	2,17
CaO	1,12
P ₂ O ₅	0,58
SO ₃	0,28
Cl	0,22
MnO	0,19
MgO	0,18
Al ₂ O ₃	0,14
Fe ₂ O ₃	0,11
Rb ₂ O	0,01
Perda ao Fogo	4,32

Fonte: Sílica Nobre (Pilecco), 2017.

Quadro 4 - Propriedades da Sílica de Casca de Arroz

Propriedades Físico Química	
Perda ao fogo (%)	< 5
Umidade (%)	< 3
pH	entre 8 e 10
Massa específica (g/cm ³)	2,16
Resíduo em peneira #325	< 5%
Teor de SiO ₂	> 90%
Ensaio CTAB (m ² /g)	10 à 12
Superfície específica BET (m ² /g)	15 à 20 m ² /g

Fonte: Sílica Nobre (Pilecco), 2017.

A massa específica da SCA (Sílica de Casca de Arroz) é um dado a ser utilizado no cálculo de dosagem visto que a substituição das porcentagens deram em volume de material. O ensaio foi realizado de acordo com que a NBR NM 23 (ABNT, 2001) estabelece, utilizando o frasco de Le Chatelier. O valor encontrado a partir do ensaio foi de 2150kg/m^3 , sendo este valor muito próximo ao que o fabricante fornece.

3.2 Dosagem, moldagem e cura

O traço utilizado para a análise dos corpos-de-prova foi fornecido por uma empresa concreteira da Região do Vale do Taquari, Lajeado/RS, é de 1: 2,63: 3,22 (cimento: areia: brita). A relação água/cimento é de 0,58, com Slump de 10cm com uma tolerância de ± 2 cm, segundo dados do fornecedor do traço. O teor de fibra de polipropileno e do aditivo superplastificante são respectivamente de $0,9\text{ kg/m}^3$ e $0,4\%/m^3$ de concreto.

Os traços foram ajustados a partir das propriedades dos materiais encontradas. De acordo com o método inicialmente foi fixado a relação *a/c*, posteriormente foi determinado o consumo dos materiais, a partir do consumo dos materiais pode-se determinar o traço.

Cada traço, está discriminado na Tabela 7, e foi apresentado uma nomenclatura para identificação da composição das dosagens. Com o traço de referência definido, uma porcentagem de cimento em volume, foi substituída por SCA, nas proporções de 10%, 20% e 30%. A quantidade de sílica para as várias frações de substituição foi calculadas com base nos ensaios de massa específica das amostras de cinza.

A nomenclatura utilizada para os traços em análise, pode ser observado na Tabela 7, onde o Traço Referência apresenta o traço sem SCA e os demais apresentam os respectivos teores de substituição do material indicado.

Tabela 7 -Traços Unitários em massa

TRAÇOS	CIMENTO	SCA	AREIA	BRITA 0	BRITA 1	a/c
REF.	1	-	2,63	0,97	2,25	0,58
SCA 10%	0,9	0,10	2,63	0,97	2,25	0,58
SCA 20%	0,8	0,20	2,63	0,97	2,25	0,58
SCA 30%	0,7	0,30	2,63	0,97	2,25	0,58

Fonte: Autora (2017)

A Tabela 8 demonstra a diminuição do consumo do cimento através da utilização da SCA por kg/m³.

Tabela 8 - Consumo de cimento

TRAÇOS(kg/m³)	CIMENTO	SCA	AREIA	BRITA 0	BRITA 1	a/c
REF.	52,34	-	137,66	50,56	117,98	28,65
SCA 10%	44,28	4,92	137,66	50,56	117,98	28,65
SCA 20%	39,19	9,8	137,66	50,56	117,98	28,65
SCA 30%	34,15	14,63	137,66	50,56	117,98	28,65

Fonte: Autora (2017)

Cada traço apresentou um volume estimado de 150 litros por mistura, assim foi possível moldar um total de 27 corpos de prova cilíndrico e 9 prismático por traço. Os CP's prismáticos foram utilizados para o ensaio de Tração na flexão, sendo utilizado 3 CP's para cada idade. Para os ensaios de módulo de elasticidade e compressão foram necessários 5 corpos de prova, 2 para compressão e outros 3 para o ensaio de módulo de elasticidade. Para o ensaio de capilaridade foram moldados 3 CP's para cada idade para cada traço, as análises ocorreram em 7, 28 e 63 dias a partir da moldagem. Estes ensaios ocorreram no LATEC da Univates.

Para o ensaio de resistência abrasão foram moldados apenas 3 corpos de prova para cada traço, visto que estes foram analisados apenas aos 63 após a sua moldagem, este ensaio foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Uma betoneira de eixo vertical foi utilizada para concretagem, com a brita 0 e a brita 1, já na betoneira a metade da água foi adicionada deixando misturar por 1

minuto, o cimento foi adicionado pra formar uma pasta o homogenia envolvendo o agregado, a areia e o restante da água, por fim foi adicionado o aditivo superplastificante deixando um tempo de mistura de 3 minutos, quando o concreto estava bem fluido foi incorporado a fibra de polipropileno.

Figura 11 - Processo de moldagem do concreto (a) mistura dos materiais; (b) concreto; (c) moldagem



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autora, 2017

A cura dos corpos de prova foi realizada conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003): Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, em câmara úmida à temperatura de (23 ± 2) °C e umidade relativa do ar superior a 95%.

3.3 Ensaios do Concreto no Estado Fresco

3.3.1 Slump test

Com o concreto no estado fresco foi realizado o ensaio do abatimento, o slump test, onde o ensaio foi executado conforme descreve a NBR 5738(ABNT, 2015), esta Norma visa à determinação da consistência do concreto, assim atendendo o regulamento da NBR NM-67 (ABNT, 1998).

Neste ensaio, coloca-se a massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes. Retira-se o molde e a diferença entre a altura do molde e a altura da massa de concreto depois de assentada, como pode-se observar na Figura 12.

Figura 12 - Ensaio slump test



Fonte: autora, 2017

Os valores do abatimento dos diferentes traços estão indicados na Tabela 9, onde todos os valores de abatimento são aceitáveis, sendo que o abatimento recomendado é de 10cm, com tolerância de 2 cm.

Tabela 9 - Valores de abatimento do concreto

Traço	Abatimento (mm)
REF.	106,5
SCA 10%	110
SCA 20%	100,8
SCA 30%	110,9

Fonte: autora, 2017

3.3.2 Ensaio do Concreto no Estado Endurecido

Para a avaliação dos concretos com diferentes teores de SCA, estipulou-se alguns ensaios mecânicos, como o de resistência a compressão, tração na flexão, desgaste abrasão, módulo de elasticidade e absorção d'água por capilaridade. Estes ensaios estão abordados nos próximos itens.

3.3.3 Resistência Compressão

A realização do ensaio à compressão simples foi realizado conforme descreve a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos com dimensões de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, foram moldados 6 corpos de prova (CP's) para cada traço, conforme especificado pela NBR 5738 (ABNT, 2016) sendo executados a ruptura de 2 CP's para cada idade, as idades de ruptura foram aos 7, 28 e 63 dias após a moldagem. Vale ressaltar que este ensaio ocorreu juntamente com o ensaio de módulo de elasticidade e por isso foram rompidos apenas 2 CP's de um total de 5 CP's por traço em cada idade.

A Figura 13 apresenta o CP durante o ensaio de resistência a compressão simples.

Figura 13 - Ensaio de compressão axial simples



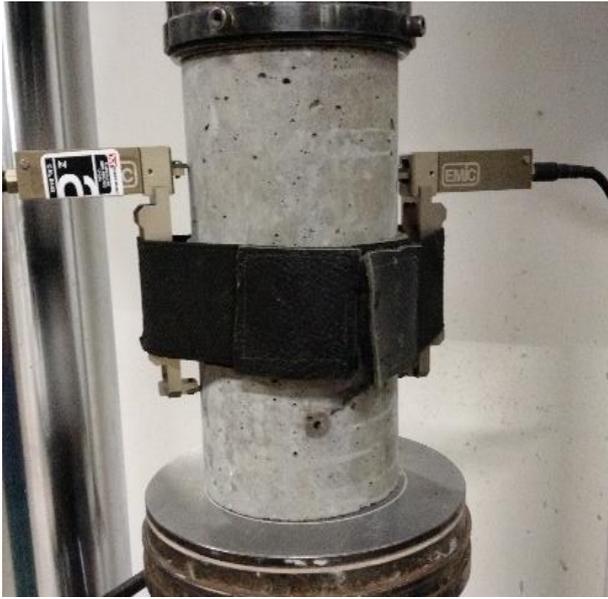
Fonte: autora, 2017

3.3.4 Módulo de Elasticidade

A realização do ensaio do Módulo de Elasticidade foi conforme descreve a NBR 8522 (ABNT, 2008). Os corpos de prova foram ensaiados através de extensômetros eletrônicos que calculam automaticamente a deformação do corpo de prova. Conforme indicação da Norma supracitada, foram rompidas duas amostras por compressão simples e mais três amostras para a determinação do módulo estático de elasticidade.

O carregamento do corpo de prova acontece em quatro etapas, em até 30% da resistência estimada de ruptura, após o último carregamento, os extensômetros foram retirados e a mesma amostra é ensaiada a compressão simples. Ensaídos três corpos de prova para cada idade, as idades de ruptura foram aos 7,28 e 63 dias após a moldagem. Na Figura 14 estão apresentados o CP e os extensômetros fixados para medir o módulo de elasticidade.

Figura 14 - Extensômetros fixados no Corpo de prova



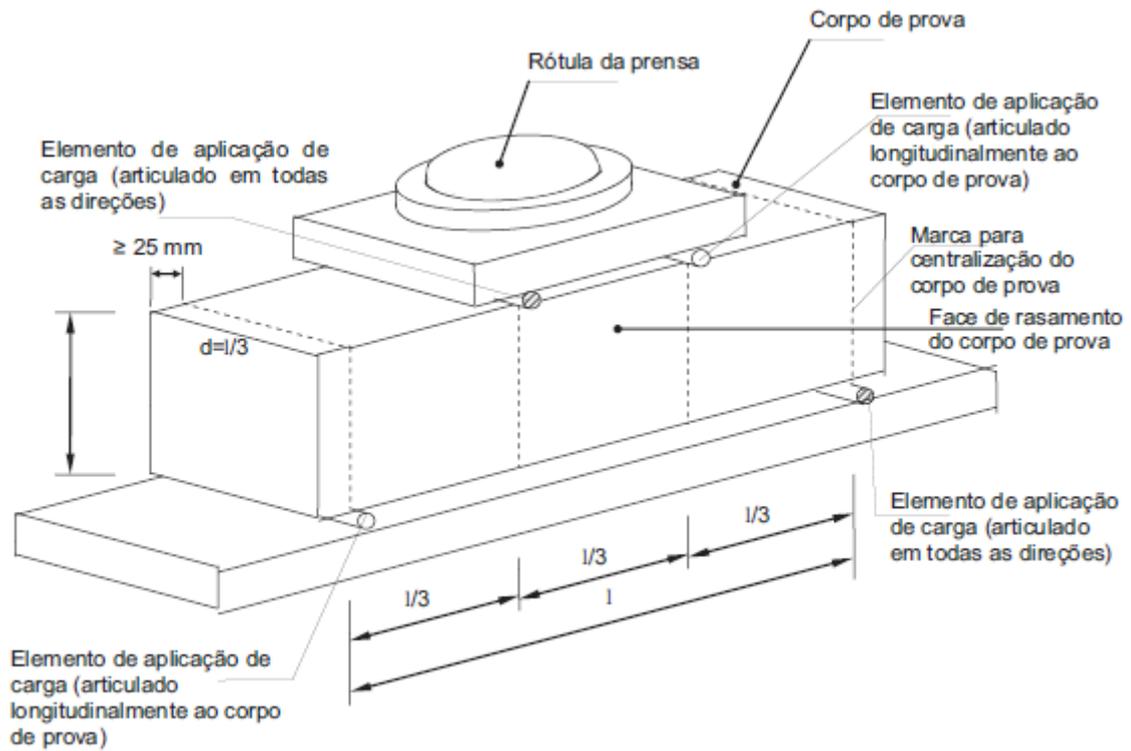
Fonte: autora, 2017.

3.3.5 Resistência a Tração na Flexão

Para a análise da resistência do concreto à tração na flexão foi seguida a NBR 12142 (ABNT, 2010), onde os corpos de prova tem dimensões estabelecidas pela normativa, sendo estas, 50cmx15cmx15cm (comprimento, largura e altura), esta norma determina a tração na flexão em corpos de prova prismáticos, moldados e curados, o ensaio consiste em aplicar carregamento nos trechos do vão, a medição foi digital. Neste ensaio os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 7, 28, e 63 dias após a moldagem.

A Figura 15 e 16 demonstram esquematicamente o procedimento de ensaio, a força aplicada foi uniforme e sem excentricidades e a distância entre os pontos de aplicação de força permaneceram constantes durante todo o ensaio.

Figura 15 – Esquematização para realização do ensaio.



Fonte: NBR 12142, 2010.

Figura16 – Ensaio de tração na flexão



Fonte: autora, 2017.

3.3.6 Ensaio de Capilaridade do concreto

Para determinar a absorção de água, através da ascensão capilar do concreto endurecido, foi seguida os procedimentos da NBR 9779, (ABNT, 1995). A execução acontece com os corpos de prova moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016), após foi medida a massa dos corpos de prova ao ar e acondicioná-los em estufa a temperatura de 105°C, após resfriá-lo a uma temperatura de 23°C e determinar novamente sua massa.

A imersão parcial dos corpos-de-prova em um recipiente com nível d'água constante a 5mm, aconteceu em seguida, para a análise os corpos-de-prova será medida a sua massa com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. Foram ensaiados corpos de prova nas idades de 7, 28, e 63 dias após a moldagem.

Figura 17– Ensaio de capilaridade



Fonte: autora, 2017.

A absorção de água por capilaridade é expresso em g/cm², sendo calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo de prova em contato com a água, conforme a equação 1:

$$C = \frac{A-B}{S} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

C= absorção de água por capilaridade. Em g/cm²

A= massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo, em g.

B= massa do corpo-de-prova seco

S= área da seção transversal, em cm²

3.3.7 Resistência ao Desgaste Abrasão

O desgaste por abrasão seguiu o que indica a ASTM C1747 (2013), o ensaio é utilizado para concreto permeável sendo utilizado a máquina de “Los Angeles” para a sua realização, este ensaio consiste em pesar a amostra depois de seca em estufa na temperatura de 105°C e colocá-la dentro do tambor do ensaio e girar ele com velocidades 30 à 33 rpm até atingir 500 rotações, o corpo de prova foi pesado novamente após o término do ensaio para aplicar a fórmula indicada na normativa, assim a perda por abrasão encontrada é em porcentagem. O desgaste dos CP's é pelo contato entre eles no interior da máquina.

$$P = \frac{m-m_1}{m} \times 100 \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

P= perda por abrasão, em porcentagem;

m= massa da amostra seca, em gramas;

m₁=massa do material retido na peneira, em gramas.

Figura 18 – Máquina de abrasão Los Angeles



Fonte: autora, 2017.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

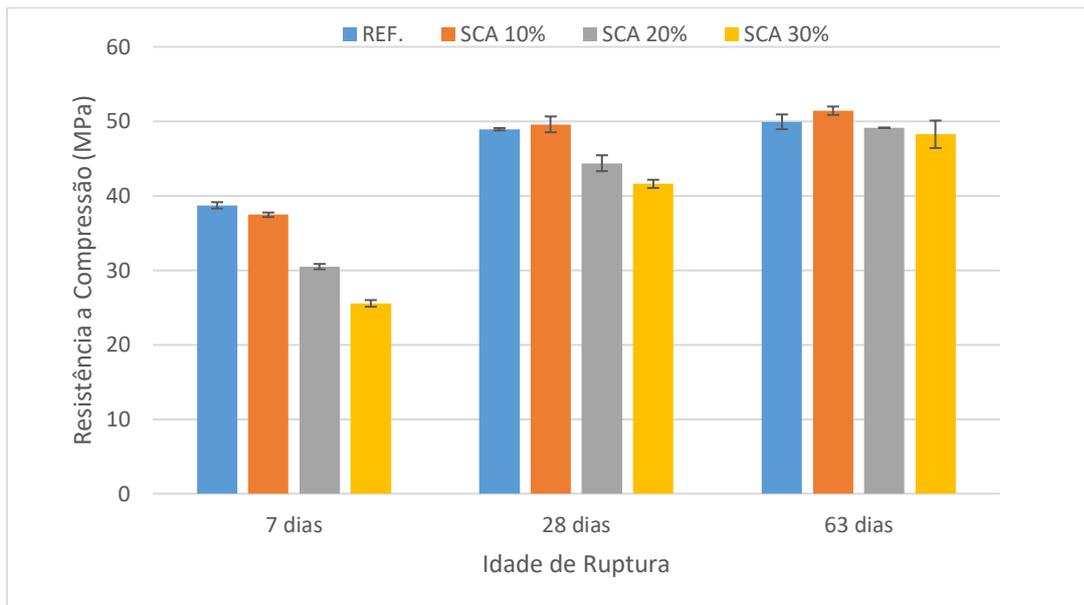
Neste capítulo são apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos durante a execução dos ensaios propostos no programa experimental, descritos no capítulo 3, visando atingir o objetivo principal e os objetivos específicos propostos para este estudo, destacando que os resultados apresentados foram obtidos através de uma média aritmética. Cabe salientar que os resultados passaram por um tratamento espúrio estatístico, visando eliminar resultados fora do desvio padrão. Os resultados de cada um dos ensaios assim como os valores eliminados pelo tratamento espúrio estão apresentados nos apêndices deste trabalho.

4.1 Resistência à compressão

O Gráfico 2 apresenta um estudo comparativo entre os resultados de resistência à compressão do traço referência com os resultados obtidos dos traços contendo SCA, em diferentes idades. Por meio deste gráfico pode-se observar o aumento de resistência de ambos os traços com o decorrer dos ensaios por idade.

No ensaio realizado aos 7 dias observa-se que a resistência a compressão do traço de referência é maior que as demais amostras, com 38,71 MPa, sendo que o traço com 10% de SCA obteve uma resistência média de 37,45 MPa, o traço com 20% de SCA apresenta 30,48 MPa e o traço com 30% de substituição 22,51 MPa.

Gráfico 2 - Resultados encontrados para o ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autora, 2017.

Os resultados obtidos aos 28 dias demonstram um ganho de resistência ao comparado aos 7 dias, principalmente nos que apresentam os teores de substituição do cimento por SCA. O concreto com 10% de SCA foi o que obteve maior valor de resistência a compressão nesta idade, chegando a 49,59 MPa.

Também é possível perceber que na idade de ruptura de 28 dias há um elevado crescimento de resistência dos concretos com 10%, 20% e 30% de SCA, esse aumento de resistência já era previsto, visto que no estudo realizado por Rêgo (2002) utilizando SCA para a análise da resistência à compressão, em diferentes teores de substituição, obteve também aumentos de resistência.

Aos 63 dias os resultados foram semelhantes aos resultados obtidos na idade anterior de ensaio, o concreto com 10% de SCA foi o que apresentou maior resistência a compressão, chegando a uma média de 51,42 MPa, os demais concretos, REF., SCA 20% e SCA 30% alcançaram com os respectivos resultados de média, 49,93 MPa, 49,13 MPa e 48,25 MPa.

A análise da variância (ANOVA), foi realizada com o intuito de verificar a influência da SCA nos concretos. A Tabela 10 apresenta os resultados de variância obtidos através da ANOVA de fator único, assim podendo analisar se o ganho de

resistência a compressão pode ser influenciado estatisticamente pelos diferentes teores de substituição de SCA.

A ANOVA faz uma análise quanto as médias e as variâncias, cabe lembrar que esta análise sendo de fator único, calcula Fator SCA. Ainda vale lembrar que para as médias serem consideradas iguais, ou seja, que não ocorre efeito do fator, é necessário que F seja menor que $F_{crítico}$, ou ainda que o valor-P seja maior que o erro admissível, sendo utilizado para este estudo o valor de 0,05.

Tabela 10 - Resultados de variância ANOVA 63 dias.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	614,03308	2	307,0165	16,93942	0,00089	4,25649
Dentro dos grupos	163,11944	9	18,12438			
Total	777,15252	11				

Onde: SQ = soma quadrada; gl = graus de liberdade; MQ = média quadrada.

Fonte: autora, 2017

Conforme pode ser observado na Tabela 10, nota-se estatisticamente que há a influência da cinza nos concretos, o Fator SCA influencia na resistência a compressão, pois os valores de F são maiores que os respectivos valores de $F_{crítico}$, além do valor-P ser maior que o erro admissível.

Na Tabela 11 é apresentado os valores de resistência a compressão dos concretos em cada uma das idades ensaiadas e a relação entre a resistência na idade do ensaio relacionado com o resultado obtido aos 7 dias, sendo esta a resistência inicial dos concretos na primeira idade estudada, partindo deste parâmetro inicial, o aumento das resistências é apresentado em percentual ao decorrer das idades de ensaio.

Tabela 11 - Resultados de resistência a compressão dos concretos

TRAÇO	fc7 (Mpa)	fc28 (Mpa)	fc63 (Mpa)	fc28 /fc7	fc63/fc7
REF.	38,71	48,94	49,93	26,41%	28,98%
SCA 10%	37,45	49,59	51,42	32,43%	37,32%
SCA 20%	30,49	44,38	49,13	45,56%	61,16%
SCA 30%	25,55	41,60	48,26	62,85%	88,90%

Fonte: autora, 2017

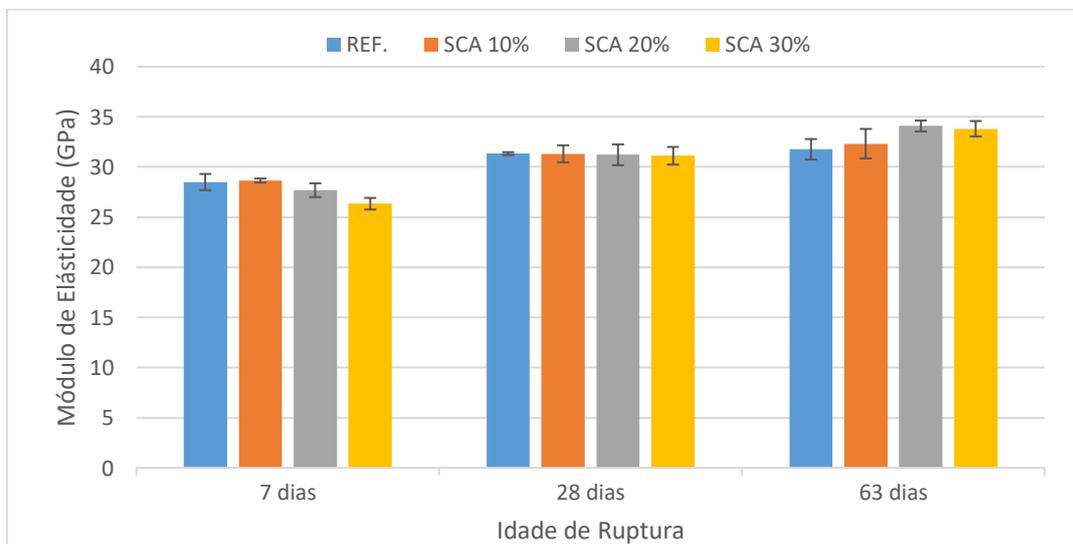
Observando a Tabela 11 é possível perceber que todos os traços melhoraram suas resistências a compressão e que os traços com SCA apresentam um aumento no percentual conforme o aumento do teor de SCA, assim o traço que apresentou maior acréscimo de resistência neste ensaio, quando comparado ao ensaio aos 7 dias, foi o com SCA 30%, este aumento foi de 88,90%. Os percentuais de aumento de resistência a compressão dos concretos REF., SCA 10% e SCA 20% foram de 28,98%, 37,32% e 61,16%, respectivamente.

Esta melhora de resistência dos concretos com SCA no decorrer dos ensaios já era esperada, devido a reação pozolânica da SCA que necessita de um maior tempo para a hidratação das partículas do que as de clínquer, assim o aumento de resistência ocorre em idades mais avançadas.

4.2. Módulo de Elasticidade

O Gráfico 3 apresenta um estudo comparativo entre os resultados do ensaio de módulo de elasticidade do traço referência com os resultados obtidos dos traços contendo SCA, em diferentes idades. Com este gráfico pode-se observar o aumento do módulo de elasticidade de todos os traços com o decorrer dos ensaios por idade.

Gráfico 3 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade



Nos ensaios realizados aos 7 dias observa-se que o módulo de elasticidade do traço com 10% de SCA é maior que as demais amostras, com 28,65 GPa, sendo que traço de referência obtém uma resistência de 27,93GPa, o traço com 20% de SCA apresenta 27,69GPa e 26,34 GPa o traço com 30% de substituição

Os resultados obtidos aos 28 dias mostram uma melhora nos valores de resistência dos concretos. Os valores médios do módulo de elasticidade para os concretos, REF., SCA 10%, SCA 20% e SCA 30%, são respectivamente de 31,43, 31,32, 31,22 e 31,12 GPa.

Com os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade aos 63 dias, observa-se que todos os concretos com SCA ficaram com valores maiores do que o concreto de referência, sendo o traço com 20% de SCA com o maior valor nesta idade, com 34,09 GPa.

Na Tabela 12 é apresentado os valores do módulo de elasticidade dos concretos em cada uma das idades ensaiadas e a relação entre a resistência na idade do ensaio relacionado com o resultado obtido aos 7 dias, sendo esta a resistência inicial dos concretos na primeira idade estudada, partindo deste parâmetro inicial, o aumento das resistências pode ser observado e é apresentado em percentual ao decorrer das idades ensaiadas.

Tabela 12 - Resultados de módulos de elasticidade dos concretos

TRAÇO	fc7 (Mpa)	fc28 (Mpa)	fc63 (Mpa)	fc28 /fc7	fc63/fc7
REF.	28,5	31,34	31,77	9,96%	11,47%
SCA 10%	28,65	31,32	32,33	9,32%	12,84%
SCA 20%	27,69	31,22	34,095	12,75%	23,13%
SCA 30%	26,34	31,12	33,82	18,15%	28,40%

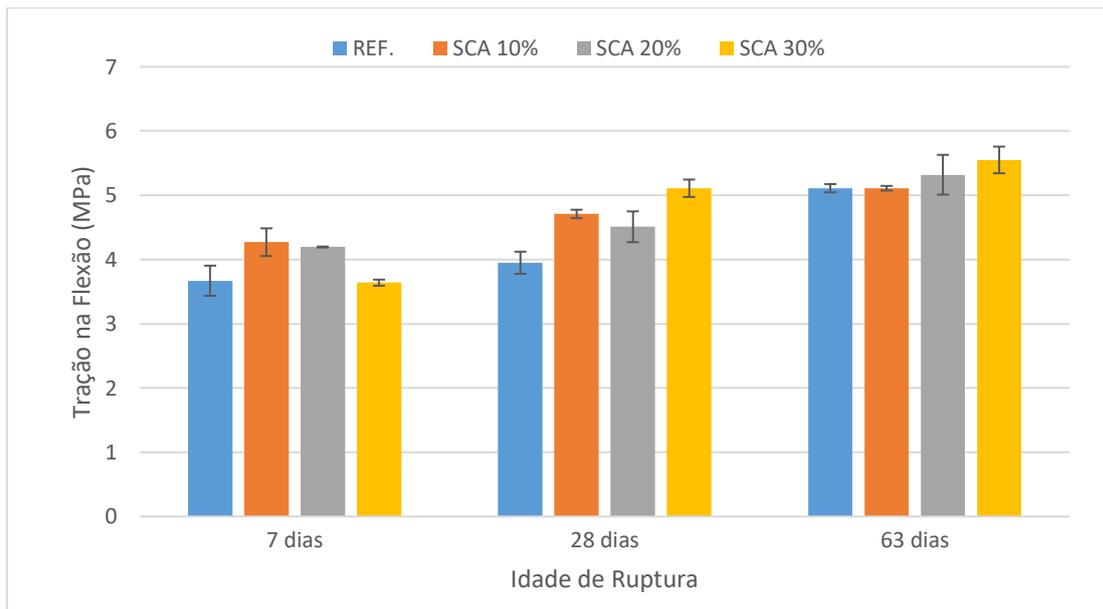
Fonte: Autora, 2017.

Os concretos estudados apresentam uma melhora em seus percentuais conforme aumenta-se o teor de substituição de cimento por SCA, o que condiz com os resultados de resistência a compressão que também obteve percentuais mais elevados nos concretos com SCA.

4.3. Resistência a Tração na Flexão

No Gráfico 4, pode-se observar um aumento de resistência a tração na flexão dos traços ao decorrer dos ensaios. A análise foi feita através de um estudo comparativo entre os resultados obtidos no ensaio de tração na flexão do traço de referência com os resultados dos traços com SCA nas diferentes idades.

Gráfico 4 - Resultado do ensaio de resistência a tração na flexão



Fonte: Autora, 2017.

Analisando o gráfico 4 nota-se que os concretos com a substituição de 10% e 20% de cimento por SCA demonstram uma maior resistência na idade de 7 dias quando comparado os demais concretos, os valores alcançados são de 4,27 e 4,19 MPa, respectivamente. O concreto de referência e o SCA 30% apresentam resultados bem próximos, sendo estes de 3,67 e 3,64 MPa.

Aos 28 dias os resultados do ensaio de tração na flexão mostram um aumento na resistência de ambos os concretos, sobressaindo nos que apresentam os teores de substituição do cimento por SCA. O concreto com 30% de SCA foi o que apresentou uma maior resistência quando comparada as demais amostras e ao ensaio realizado aos 7 dias, passando de 3,64 MPa para 5,11 MPa, acredita-se que este aumento é novamente pela reação pozolânica da SCA que tem como

característica agir em idades mais avançadas. O concreto REF. foi o que apresentou menor valor no ensaio aos 28 dias, chegando a 3,95 MPa. Os concretos SCA 10% e SCA 20% sobressaíram ao concreto de referência com 4,71 e 4,51MPa, respectivamente.

Os resultados obtidos aos 63 dias o concreto com 30% de SCA foi o que obteve o maior valor de resistência a tração na flexão, alcançando 5,55 MPa, o concreto com 20% de SCA chegou a 5,32 MPa, os traços de referência e o com 10% de SCA ficaram com o mesmo valor, de 5,11 MPa.

Com os valores de resistência à tração na flexão obtidos através do ensaio observa-se um crescimento da resistência em todos os concretos no decorrer das idades dos ensaios. Este acréscimo de resistência era esperado, visto que este estudo visa analisar o comportamento mecânico e um indicativo de durabilidade de concretos para pisos industriais. Para confirmar estatisticamente esta análise foi realizada da mesma forma que para a análise de compressão, a análise de variância (ANOVA) de fator único com o intuito de verificar a influência da SCA nos traços.

Tabela 13 - Resultados de variância ANOVA aos 63 dias.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,535029	2	1,767515	13,61904	0,001896	4,256495
Dentro dos grupos	1,168044	9	0,129783			
Total	4,703073	11				

Onde: SQ = soma quadrada; gl = graus de liberdade; MQ = média quadrada.

Fonte: autora, 2017

Conforme pode ser observado na Tabela 13, evidencia-se que há a influência da sílica nos resultados de tração na flexão dos concretos, pois ambos os valores de F são maiores que os respectivos valores de Fcrítico, além do valor-P ser maior que o erro admissível. Através dos resultados das médias apresentados no Gráfico 4 e da análise de variância, o efeito da SCA nota-se positivo quanto o ganho nos valores de tração na flexão dos concretos com SCA.

Conforme apresentado pelo Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), concretos que apresentam entre 4,5 a 5,0 MPa de resistência à tração, apresentam maior impermeabilidade e durabilidade adequada do que concretos como por exemplo

com 4,0 MPa ou menos, em contra partida o controle tecnológico deve ser feito com rigor. Pavimentos rígidos trabalham principalmente a tração do concreto, levando em consideração à fadiga e as cargas aplicadas sobre ele.

Outras atribuições são dadas a pavimentos rígidos, tais como, resistir e distribuir os esforços verticais produzido pelas cargas estáticas e dinâmicas, melhorar as condições de rolamento para uma maior comodidade e segurança para os usuários, sendo estes os principais quesitos para pisos industriais.

Na Tabela 14 é apresentado os valores de resistência a tração dos concretos em cada uma das idades ensaiadas e a relação entre a resistência na idade do ensaio relacionado com o resultado obtido aos 7 dias, sendo esta a resistência inicial dos concretos na primeira idade, partindo deste parâmetro inicial, o aumento das resistências pode ser observado em percentual ao decorrer das idades ensaiadas.

Tabela 14 - Resultados de resistência a tração na flexão

TRAÇO	fc7 (Mpa)	fc28 (Mpa)	fc63 (Mpa)	fc28 /fc7	fc63/fc7
REF.	3,67	3,95	5,11	7,63%	39,24%
SCA 10%	4,27	4,71	5,11	10,30%	19,67%
SCA 20%	4,20	4,51	5,32	7,51%	26,82%
SCA 30%	3,64	5,11	5,55	40,38%	52,47%

Fonte: Autora, 2017.

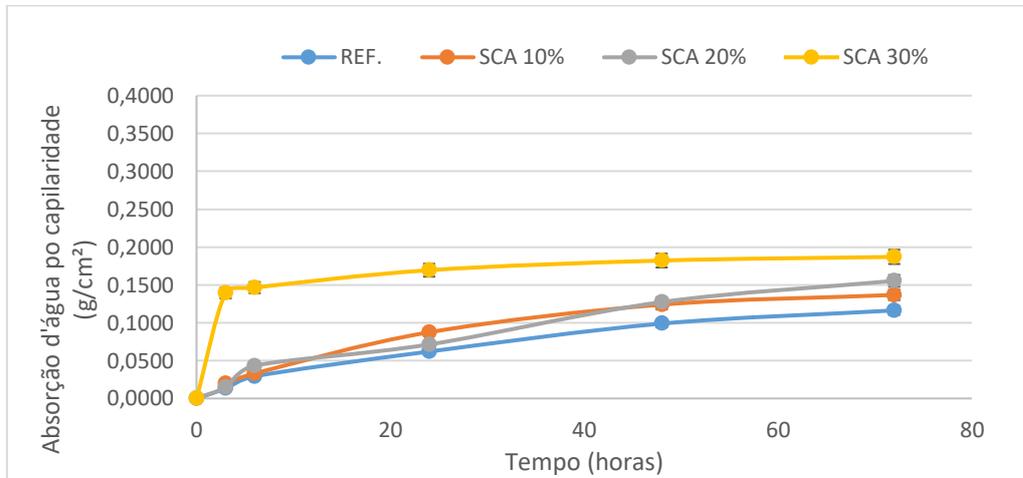
Com a análise da Tabela 14, valores percentuais de resistência a tração na flexão os concretos que apresentaram um maior crescimento em seus percentuais ao decorrer das idades foram o concreto com 30% de SCA e o de referência, apresentando 52,47% e 39,24%, respectivamente.

4.4 Absorção por Capilaridade

O Gráfico 5, 6 e 7 apresentam um estudo comparativo entre os resultados do ensaio absorção por capilaridade do traço referência com os resultados obtidos dos traços contendo SCA, na idade de 7, 28 e 63 dias, respectivamente, relacionando a

absorção em horas, sendo estas, 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, estabelecidas pela NBR 9779 (ABNT, 1995).

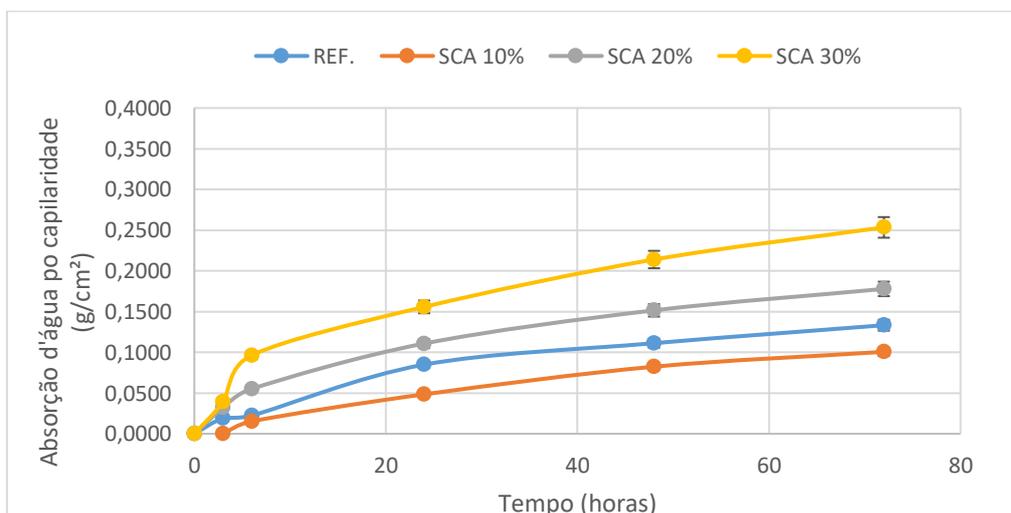
Gráfico 5 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade aos 7 dias.



Fonte: Autora, 2017.

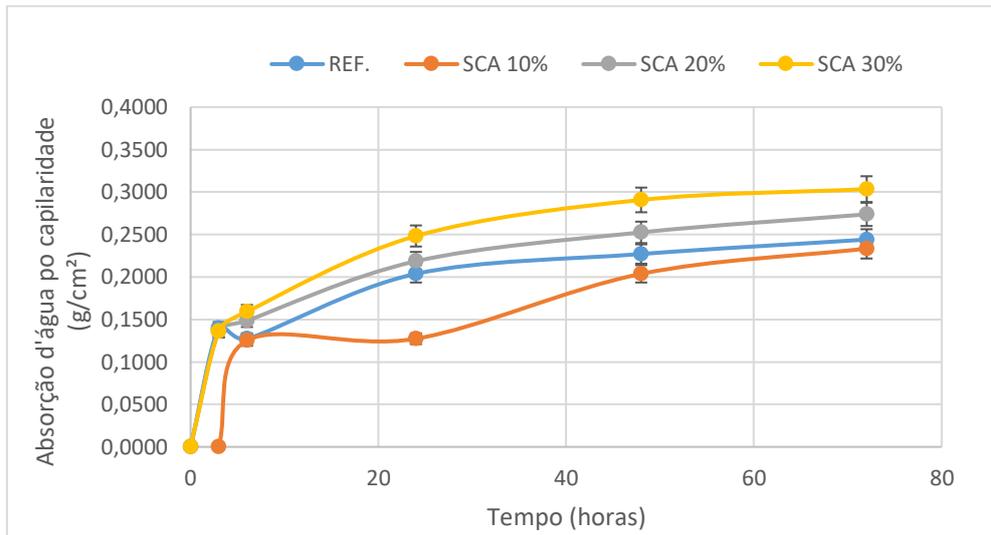
Com o Gráfico 5, é possível observar os valores médios obtidos nas determinadas horas do ensaio de absorção por capilaridade aos 7 dias. O concreto REF. apresenta uma menor absorção, com um valor médio de 0,0624 g/cm² e conforme foi aumentando o teor de substituição do cimento pela SCA os valores da absorção de água pela capilaridade também aumentaram, sendo estes valores, 0,77, 0,082 e 0,189g/cm², respectivamente.

Gráfico 6 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade aos 28 dias.



Fonte: Autora, 2017.

Gráfico 7 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade aos 63 dias.



Fonte: Autora, 2017.

Em análise aos gráficos 6 e 7, nota-se que o concreto de SCA 10% foi o que menos absorveu água, e que o de aumento de absorção acontece na seguinte ordem, traço REF., SCA 20% e SCA 30%. O maior valor de absorção obtido foi na idade de 63 dias apresentado pelo concreto SCA 30%, sendo este 0,2483 g/cm².

Após ao ensaio de absorção por capilaridade os CP's foram rompidos por compressão diametral, para observar as alturas alcançadas pela penetração. Em todos os CP's a altura não foi significativa, visto que as absorções foram baixas, na Figura 19 pode-se observar a baixa absorção por capilaridade.

Figura 19 – Penetração d'água no ensaio de absorção por capilaridade.



Fonte: autora, 2017.

Pereira da Costa (2015) em seu estudo onde analisa a durabilidade de compósitos de elevada capacidade de deformação, no ensaio de capilaridade dos concretos observou que o concreto para pavimento teve uma alta resistência a absorção chegando a valores bem próximos aos encontrados neste trabalho.

A autora justifica que a baixa absorção deste concreto ocorre pela maior compactidade dada por uma composição granulométrica de constituição contínua e ainda por possuírem menor quantidade de poros do que quando comparado ao do compósito, com adição de SCA. A altura da penetração por capilaridade medida em seu estudo, foi também próxima a 0 cm.

Em um estudo apresentado por Helene (1993), o autor apresenta uma sugestão de classificação dos concretos quanto a sua durabilidade através de ensaios de absorção de água por capilaridade e porosidade, estabelecendo três categorias:

Quadro 5 - Classificação dos concretos

Classificação	Porosidade	Absorção de água
Concretos duráveis	<10%	<4,2%
Concretos normais	entre 10% e 15 %	entre 4,2% e 6,3%
Concretos deficientes	>15%	>6,3%

Fonte: Helene, 1993.

Procurando classificar os concretos deste estudo a Tabela 14 apresenta os valores dos pesos médios dos CP's em todas as idades ensaiadas, em g, assim como a absorção média em g/cm². Para realizar a classificação conforme sugerido por Helene (1993), foi realizada a transformação do peso médio de gramas para g/cm². A classificação de todos os concretos ficam como concretos duráveis, apresentando absorção menor que 4,2%.

Tabela 15 - Absorção de água em percentual

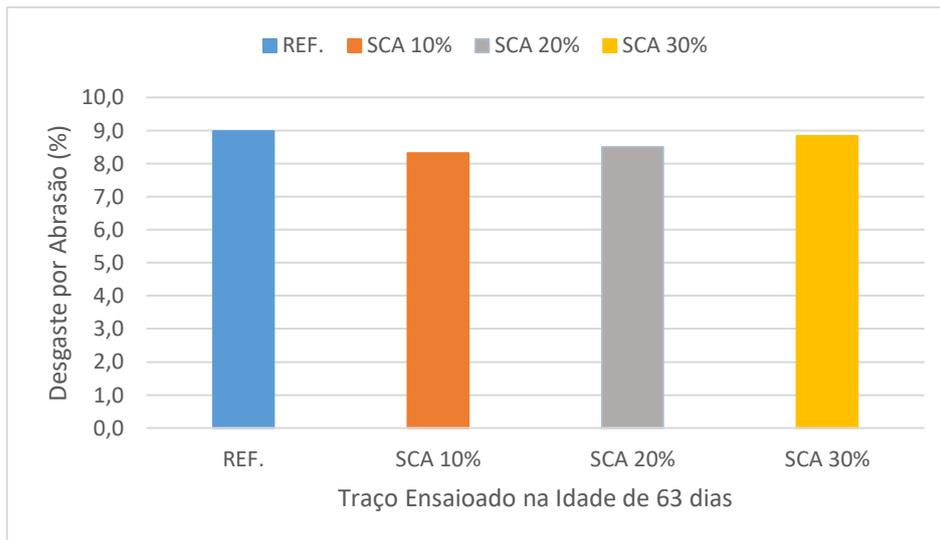
Traço	Peso médio (g)	Absorção (g/cm²)	Absorção (%)
REF.	3518,4	0,0866	0,193
10% SCA	3452,2	0,0815	0,196
20% SCA	3550	0,1108	0,191
30% SCA	3511	0,1897	0,193

Fonte: Autora, 2017.

4.5 Resistência ao Desgaste Abrasão

O Gráfico 8 apresenta a perda de massa por abrasão dos concretos. O ensaio foi realizado de acordo com a ASTM C1747 (2013). Este ensaio foi realizado apenas para a idade de 63 dias, devido à falta de equipamento.

Gráfico 8 - Resultado de perda de massa por abrasão (%).



Fonte: Autora, 2017.

No Gráfico 8 observa-se as perdas de massa dos concretos depois de submetidos ao ensaio de desgaste por abrasão na máquina de Los Angeles, nota-se que o concreto REF. foi o que perdeu maior percentual de massa, sendo esta de 8,98%, em contrapartida o concreto que teve menor perda de massa foi o com 10% de SCA, com 8,31%. Os demais concretos também ficaram na faixa de 8% de perda de massa.

Os concretos de REF., SCA 10%, SCA 20%, após o ensaio permaneceram com dois CP's íntegros e um CP partido ao meio, conforme a Figura 20.

Figura 20 – Ensaio de desgaste por abrasão. (a) REF.; (b) SCA 10%; (c) SCA 20%.



(a)



(b)



(c)

Fonte: autora, 2017.

O concreto com 30% de SCA teve seus três corpos de provas partidos ao meio durante o ensaio, conforme Figura 21, assim o cálculo se deu através da média da soma dos pesos de todos os 3 CP's.

Figura 21– Ensaio de desgaste por abrasão 30% SCA.



Fonte: autora, 2017.

Em relação ao desgaste abrasão nos quatro traços percebe-se que o concreto com 30% de SCA ficou mais fraco que os demais concretos, pois houve a quebra de todos os CP's, enquanto os demais CP's apresentaram apenas um CP partido ao meio, sendo que o ensaio foi realizado a cada três CP's do mesmo traço

5 CONCLUSÕES

A busca pela melhora da qualidade e da sustentabilidade dos materiais utilizados no setor industrial da construção civil deve ser constante. O número de manifestações patológicas que vem sendo relatadas há anos em pisos industriais comprova que o desenvolvimento de novas técnicas e alternativas se fazem cada vez mais importantes. Este estudo teve como objetivo analisar o comportamento do concreto com substituição de diferentes teores de SCA, assim colaborar com o avanço tecnológico e sustentável para pisos industriais.

A análise dos dados experimentais coletados no desenvolvimento deste trabalho permitiu elaborar uma série de considerações, que foram apresentadas ao longo do trabalho e que estão resumidas abaixo:

- a) A resistência à compressão dos concretos com SCA demonstraram um aumento significativo ao decorrer das idades ensaiadas, o concreto com 10% de SCA foi o que apresentou maior valor, porém todos os traços aumentaram consideravelmente seus valores de resistência a compressão ao decorrer das idades ensaiadas.
- b) Quanto aos valores de módulo de elasticidade, observa-se uma melhora ao decorrer das idades em todos os concretos, porém os concretos com SCA apresentam os valores maiores, indicando maior resistência, destacando-se com um maior valor o concreto com 30% de SCA.

- c) Os valores de Tração na Flexão de todos os concretos obtiveram aumento de resistência, sendo que mais uma vez, assim como nos demais ensaios mecânicos dos concretos, os traços com SCA apresentaram maior valor conforme foi aumentando o teor de SCA da substituição, assim sendo o concreto com 30% de SCA na substituição o que teve melhor resultado.
- d) A absorção por capilaridade é menor no concreto com o teor de 10% de SCA. Os demais concretos com SCA apresentam valores maior de absorção por capilaridade quando comparados com o concreto de referência, mas todos os valores encontrados são relativamente baixos nos demais concretos, classificando-os como concretos duráveis.
- e) A perda de massa por abrasão em ambos os concretos foi muito próxima, ficando em uma faixa de 8% de perda, mas o que apresentou o menor valor foi o concreto com 10% de teor de substituição de cimento por SCA.

Enfim, conclui-se que a sílica de casca de arroz mostrou uma pozolâna eficiente nas características mecânicas dos concretos para pisos industriais. Os teores escolhidos demonstram uma tendência de melhora do comportamento mecânico destes concretos. O concreto com 30% de SCA foi o que obteve melhores resultados em idades avançadas, isso ocorreu através da reação pozolânica da SCA, que potencializa suas reações nestas idades. Porém quando se fala de piso industrial, os carregamentos sobre o piso ocorrem em idades iniciais, requerendo resistência já nas primeiras idades, sendo assim o traço que melhor satisfaz as necessidades é o com 10% de SCA.

Os parâmetros de durabilidade propostos neste estudo, sendo estes o ensaio de absorção por capilaridade e o desgaste por abrasão, apresentaram resultado de melhor traço o concreto com 10% de SCA, porém os resultados de todos os concretos foram muito próximos, o que dificulta uma boa interpretação dos resultados obtidos, sugere-se que estes parâmetros sejam melhores analisados em trabalhos futuros.

Sugestão à trabalhos futuros:

- a) São sugeridas análises similares onde outros teores de substituição de SCA possam ser testados.
- b) Realizar ensaios que melhor avaliem a durabilidade deste concreto.
- c) Análise que avalie o diferencia de custo entre concreto convencional e concreto com SCA.
- d) Aumentar o teor de fibras incorporadas ao concreto para uma análise de resistência mecânica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion**. ASTM C 1747. West Conshohocken, PA, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5737**: concreto –Cimento Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó –Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 7225**: concreto – materiais de pedra e agregados naturais. RiodeJaneiro, 1993.

_____. **NBR 45**: Agregados –Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 67**: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do ronco de cone. RiodeJaneiro, 1998.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland: Resistência a Compressão. RiodeJaneiro, 1996.

_____. **NBR 12042**: materiais inorgânicos – determinação do desgaste por abrasão. RiodeJaneiro, 1992.

_____. **NBR NM 51**: agregado graúdo – ensaio abrasão Los Angeles. RiodeJaneiro, 2001.

_____. **NBR NM 52**: agregado miúdo – determinação de massa específica e massa específica aparente. RiodeJaneiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. RiodeJaneiro, 2009.

_____. **NBR NM 248:** agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 8522:** Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 13818:** placas cerâmicas para revestimento – especificações e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 9779:** argamassa e concreto endurecidos – determinação de absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

ACI Committee 302. ACI 302.1R-04 – **Guide for Concrete Floor and Slab Construction**. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan, 2004.

BARBOSA, M. B. **Utilização de resíduo de cinza de casca de arroz e borracha em concreto de alto desempenho**. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Ilha Solteira, São Paulo.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do Comportamento de Materiais Compósitos de Matrizes Cimentícias Reforçadas com Fibra de Aramida Kevlar**. 2003. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERTUR A., MIENDESS S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. Elsevier Applied Science, London and New York, 1990.

BINA, P. **Pisos industriais e pavimentos com fibras: o desenvolvimento e o futuro**. Revista Concreto e Construções, São Paulo: IBRACON, ano 37, n. 56, p. 24-30, out./nov./dez. 2009.

BINA, P., CASTRO, P. R., TEIXEIRA, A.O.F. **Estado da arte dos pisos industriais e pavimentos: do sistema de damas ao protendido**. REIBRAC, Belo Horizonte, MG 2002.

CABOPEC. **Cordoalhas**. Disponível em: <<http://www.cabopec.com.br/portal/taxonomy/term/12>>. Acesso em 13 de maio. 2017

CHODOUNSKY, M. A. **Pisos industriais de concreto: aspecto teóricos e construtivos**. 2007. São Paulo: Reggeneza, 2007.

COSTA, F. B. P. **Análise da durabilidade de compósitos cimentícios de elevada capacidade de deformação com fibras**. 2015. 169 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rio Grande do Sul.

CRISTELLI, R. **Pavimentos Industriais de Concreto-Análise do Sistema Construtivo**. 2010. 151 f. Monografia (Graduação em Engenharia) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

FERREIRA, A. A. **Estudo sobre a porosidade de concretos de alto desempenho com adições da cinza de casca de arroz**. 191 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. Boletim Técnico PCC/260.

FRANCO, B. L. M.; **A tecnologia do concreto reforçado com fibras de aço**. Revista Concreto e Construções, São Paulo: IBRACON, ano 36, nº 50, p. 42-47, abr./mai./jun. 2008.

GARCEZ, E. O. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço submetidos a cargas de impacto**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUERDAU. **Tela eletrosoldada**. Disponível em: <<https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos/tela-soldada-nervurada-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em: 13 de maio. 2017

GUIMARÃES, D. **Pisos industriais em concreto: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos**. 90 f. Diplomação

(Graduação em Engenharia Civil) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HELENE P. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de concreto armado.** 1993. Tese. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

HOPPE T. F.; GASTALDINI A. L. G.; ISAIA G. C.; MISSAU F.; SACIOTO A. P. **Influência do teor de cinza de casca de arroz na resistividade elétrica do concreto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, 2005, Olinda. Anais... Olinda: Ibracon, 2005. (CD ROM).

KANAMURA, J. – **Diferentes concretos para pisos industriais.** Revista Técnica, São Paulo: PINI, edição 145, abril de 2009.

MATTOS, M. L. – **Pisos industriais de concreto.** Revista Técnica, São Paulo: PINI, edição 89, agosto de 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais.** São Paulo: IBRACON, 208. 674 P.

MEHTA, P.K. Rice husk ash - **A unique supplementary cementing material.** In: **Advances in concrete technology.** CANMET. Ottawa, 1992, p. 407-431.

NASCIMENTO, W. N. et al. **Adição de cinza de casca de arroz (CCA) no concreto, sob o aspecto da durabilidade.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Ibracon, 2002. (CD ROM).

NUNES, N. L. **Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos.** 2006. 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, P. L. – **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto.** 2000. 216f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

POUEY, M. T. F.. **Beneficiamento da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345 p. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=>> . Acesso em: 24 abril. 2017.

RÊGO, J. H. S.; FIGUEIREDO, E. P.; NEPOMUCENO, A. A. **A utilização da cinza de casca de arroz residual (CCA residual) como adição mineral ao cimento em concretos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002.

RODRIGUES, P. F. – **Projetos e critérios executivos de pavimentos industriais de concreto armado** -2006. 101f. ITBS, 2º ed. São Paulo.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Florianópolis, 1997, 130f. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SILVA, E. J.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. **Estudo de reações expansivas em argamassas de cimento Portland com cinza de casca de arroz (CCA)**. HOLOS Environment, 2007.

VIECILI, F. A. – **Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência á brasão de pisos Industriais de concreto**.2004. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RODRIGUES, P. P. F.; MONTARDO, J. P. **A influência da Adição de Fibra de Polipropileno nas Propriedade dos Concretos para Pisos e Pavimentos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabela com valores encontrado a partir dos ensaios de compressão dos concretos

Traço	Idade	Resistência à Compressão (Mpa)	Média	Des. Padrão	Coef. Var. (%)
REF.	7 dias	39,01 38,41	38,71	0,424	1,096
10% SCA	7 dias	37,66 37,23	37,445	0,304	0,812
20% SCA	7 dias	30,23 30,74	30,485	0,361	1,183
30% SCA	7 dias	25,23 25,86	25,545	0,445	1,744
REF.	28 dias	48,82 49,05	48,935	0,163	0,332
10% SCA	28 dias	50,34 48,84	49,59	1,061	2,139
20% SCA	28 dias	45,13 43,62	44,375	1,068	2,406
30% SCA	28 dias	41,99 41,21	41,6	0,552	1,326
REF.	63 dias	50,63 49,27	52,93	0,424	0,802
10% SCA	63 dias	51,82 51,02	51,42	0,566	1,100
20% SCA	63 dias	47,4 50,86	49,13	2,447	4,980
30% SCA	63 dias	49,56 46,95	48,255	1,846	3,825

Fonte: autora, 2017.

APÊNDICE B – Tabela com valores encontrado a partir dos ensaios de módulo de elasticidade dos concretos

Traço	Idade	Módulo de Elásticidade (Gpa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)
REF.	7 dias	27,93	28,5	0,806	2,828
		29,07			
		Eliminado			
10% SCA	7 dias	28,65	28,65	0,202	0,705
		28,65			
		28,3			
20% SCA	7 dias	28,46	27,69	0,687	2,480
		27,09			
		27,69			
30% SCA	7 dias	27,24	26,34	0,579	2,197
		26,16			
		26,34			
REF.	28 dias	31,34	31,34	0,142	0,452
		31,28			
		31,55			
10% SCA	28 dias	31,32	31,32	0,848	2,708
		32,29			
		30,60			
20% SCA	28 dias	31,22	31,22	1,041	3,335
		32,35			
		30,27			
30% SCA	28 dias	31,59	31,12	0,883	2,839
		29,88			
		31,12			
REF.	63 dias	30,13	31,77	1,020	3,210
		32,00			
		31,77			
10% SCA	63 dias	32,33	32,33	1,469	4,542
		Eliminado			
		31,52			
20% SCA	63 dias	30,02	34,09	0,309	5,813
		33,71			
		34,48			
30% SCA	63 dias	33,82	33,89	0,207	3,738
		33,1			
		34,63			

Fonte: autora, 2017.

APÊNDICE C – Tabela com valores encontrado a partir dos ensaios de tração na flexão dos concretos

Traço	Idade	Tração na Flexão (Mpa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)
REF.	7 dias	3,59	3,67	0,234	6,386
		3,67			
		4,03			
10% SCA	7 dias	4,09	4,27	0,216	5,057
		4,52			
		4,27			
20% SCA	7 dias	4,2	4,195	0,007	0,169
		4,19			
		Eliminado			
30% SCA	7 dias	3,66	3,64	0,047	1,298
		3,64			
		3,57			
REF.	28 dias	4,00	3,95	0,172	4,358
		3,68			
		3,95			
10% SCA	28 dias	4,63	4,71	0,066	1,392
		4,76			
		4,71			
20% SCA	28 dias	4,75	4,51	0,240	5,322
		4,27			
		4,51			
30% SCA	28 dias	4,97	5,11	0,135	2,642
		5,24			
		5,11			
REF.	63 dias	5,01	5,11	0,064	1,258
		5,11			
		5,13			
10% SCA	63 dias	5,06	5,11	0,036	0,706
		5,13			
		5,11			
20% SCA	63 dias	5,49	5,32	0,309	5,813
		4,89			
		5,32			
30% SCA	63 dias	5,81	5,55	0,207	3,738
		5,55			
		5,40			

Fonte: autora, 2017.

APÊNDICE D – Tabela com valores dos ensaios de absorção por capilaridade dos concretos

Traço	Idade	Inicial (g)	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h	Média (g/cm²)	Desvio Padrão
REF.	7 dias	3605,1	0,014	0,036	0,067	0,103	0,118	0,062	0,035
		3614,2	0,006	0,025	0,056	0,089	0,108		
		3552	0,019	0,027	0,062	0,104	0,122		
10% SCA	7 dias	3434,1	0,031	0,043	0,108	0,159	0,574	0,078	0,076
		3401,9	0,010	0,025	0,076	0,090	0,101		
		3452,2	0,019	0,031	0,078	0,122	0,141		
20% SCA	7 dias	3582,8	0,010	0,025	0,071	0,118	0,153	0,083	0,047
		3583,6	0,014	0,022	0,060	0,103	0,120		
		3495,9	0,020	0,083	0,083	0,160	0,194		
30% SCA	7 dias	3547,4	0,140	0,146	0,200	0,213	0,213	0,190	0,028
		3500,7	0,141	0,149	0,202	0,215	0,190		
		3557,9	0,136	0,144	0,186	0,199	0,199		
REF.	28 dias	3515,5	0,033	0,010	0,090	0,113	0,135	0,087	0,043
		3518,4	0,009	0,022	0,078	0,107	0,130		
		3486,1	0,015	0,036	0,087	0,113	0,135		
10% SCA	28 dias	3436,5	0,008	0,031	0,081	0,103	0,121	0,081	0,033
		3469	0,015	0,064	0,089	0,110	0,125		
		3407	0,023	0,051	0,076	0,089	0,108		
20% SCA	28 dias	3481,3	0,028	0,024	0,108	0,153	0,183	0,111	0,050
		3410,3	0,031	0,052	0,113	0,154	0,181		
		3338,3	0,037	0,089	0,111	0,148	0,169		
30% SCA	28 dias	3511	0,015	0,060	0,085	0,115	0,130	0,121	0,084
		3425,8	0,057	0,121	0,210	0,289	0,354		
		3428,9	0,045	0,108	0,172	0,238	0,276		
REF.	63 dias	3515,5	0,033	0,010	0,090	0,113	0,135	0,087	0,043
		3518,4	0,009	0,022	0,078	0,107	0,130		
		3486,1	0,015	0,036	0,087	0,113	0,135		
10% SCA	63 dias	3436,5	0,008	0,031	0,081	0,103	0,121	0,081	0,033
		3469	0,015	0,064	0,089	0,110	0,125		
		3407	0,023	0,051	0,076	0,089	0,108		
20% SCA	63 dias	3481,3	0,028	0,024	0,108	0,153	0,183	0,111	0,050
		3410,3	0,031	0,052	0,113	0,154	0,181		
		3338,3	0,037	0,089	0,111	0,148	0,169		
30% SCA	63 dias	3511	0,015	0,060	0,085	0,115	0,130	0,121	0,084
		3425,8	0,057	0,121	0,210	0,289	0,354		
		3428,9	0,045	0,108	0,172	0,238	0,276		

Fonte: autora, 2017.

APÊNDICE E – Tabela com valores encontrado a partir do ensaio de resistência ao desgaste abrasão dos concretos

Traço	Idade	Inicial	Final	P (%)	Média (%)	Desvio Padrão
REF.	63 dias	3441,3	3132,3	8,98	8,9792	2,1641
		3498,5	3018,2	13,73		
		3424,5	3125,2	8,74		
10% SCA	63 dias	3481,8	3104,7	10,83	8,3148	1,4106
		3509,4	3217,6	8,31		
		3479,3	3235,8	7,00		
20% SCA	63 dias	3430,3	3138,8	8,50	8,4978	0,9569
		3367,9	3144,9	6,62		
		3485,9	3170,4	9,05		
30% SCA	63 dias	3449,9	3145,1	8,84	8,8350	0,0000

Fonte: autora, 2017.



UNIVATES

Rua Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil

CEP 95900-000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714-7000

www.univates.br | 0800 7 07 08 09