

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**CLARISSA SALDANHA VESSOZI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO  
COM A ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ**

**Alegrete**

**2016.**

**CLARISSA SALDANHA VESSOZI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO  
COM A ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Engenheira Civil.

Orientador: Jaelson Budny.

**Alegrete**

**2016.**

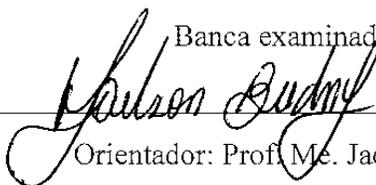
CLARISSA SALDANHA VESSOZI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO  
COM A ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Engenheira Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de Dezembro de 2016.

Banca examinadora:



Orientador: Prof. Me. Jaelson Budny

UNIPAMPA



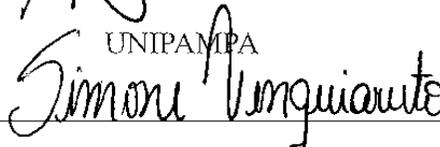
Coorientador: Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

UNIPAMPA



Prof. Me. Alisson Simonetti Milani

UNIPAMPA



Prof. Me. Simone Dornelles Venquiaruto

UNIPAMPA

*Dedico este trabalho a Deus que me deu força e sabedoria. Aos meus pais, José Antônio e Neidi, por todo amor e dedicação sempre da vida toda. Aos meus irmãos, Érico, Tainara e Angélica, pela amizade e apoio. Ao meu esposo Lucas que tanto amo, por tudo que sempre fez para que eu chegasse até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força para trilhar este longo percurso até aqui sem que eu perdesse a força para lutar.

Ao meu orientador Professor Me. Jaelson Budny e ao Coorientador Professor Dr. Fladimir Fernandes dos Santos pelas orientações, incentivos, aprendizados, oportunidade, amizade e acima de tudo pela paciência.

À minha família que sempre me apoiou e acreditou no meu sonho.

Meu esposo, amigo e companheiro de todas as horas, Lucas Santos Pereira, sem seu apoio, palavras de carinho e sabedoria eu não teria chegado onde estou hoje. Amo- te!

Aos amigos, Lauder, Carolliny, Cibeli, Camila, Raquel, Lucas e Naiéle que ajudaram nos ensaios práticos, jamais agradecerei o suficiente pelas horas de frio e trabalho que passaram por mim, se hoje este trabalho existe foi porque vocês estiveram ao meu lado quando precisei.

Aos meus amigos que de uma forma ou de outra contribuíram mesmo que com um sorriso sincero e palavras de amizade, saibam que vocês foram fundamentais, sem amigos nada somos.

Aos técnicos dos laboratórios da Engenharia Civil e Agrícola pelo auxílio durante a realização dos ensaios.

Aos demais funcionários que sempre de alguma forma buscaram ajudar quando precisei.

E por fim, a todos que contribuíram e acreditaram em meu trabalho de alguma maneira.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo o estudo da viabilidade técnica de estabilizar um solo arenoso de Alegrete/RS com a adição de parcelas de cinza de casca de arroz (CCA) e cimento Portland para a confecção de tijolos. A cinza de casca de arroz é originada da queima da casca do arroz e encontra-se em grande volume na natureza, onde muitas vezes é descartada de forma inadequada trazendo prejuízos negativos ao meio ambiente. No estado do Rio Grande do Sul esta pode ser encontrada em abundância devido ao fato do mesmo ser um dos maiores produtores de arroz do país. Na busca de amenizar esses problemas ambientais e trazer novas tecnologias para a construção civil, a metodologia deste trabalho consistiu em estudar e desenvolver um programa experimental para a produção de tijolos de solo-cimento utilizando solo arenoso proveniente de uma jazida localizada na cidade de Alegrete, RS, com o uso de distintas porcentagens de CCA como agente estabilizante. Para as comparações foram realizadas moldagens de solo sem inclusão de agente estabilizador e moldagens com diferentes teores desses materiais e, assim, comparado e comprovado o desempenho de cada traço estudado. Foram realizados ensaios de caracterização físico-química entre a cinza e o cimento em diferentes teores, ensaios de Mini Proctor (MCT) para determinar a umidade ótima do solo, ensaios de resistência à compressão simples (RCS) dos tijolos em todos os traços estudados e de absorção de água dos tijolos. Os resultados de absorção foram satisfatórios, enquanto os de resistência à compressão simples não foram adequados quanto à exigência da norma.

Palavras-chave: Estabilização de solos; Solo-Cimento; Cinza de Casca de Arroz.

## **ABSTRACT**

This work has the objective to realize an study of the technical viability of stabilizing a sandy soil of Alegrete/RS with addition of parts of rice husk ash (CCA) and Portland cement for the construction of bricks. Rice husk ash originates from the burning of the rice husk and is found great volume in the wild where it is often discarded in an inadequate manner, causing severe damage to the environment. In the state of Rio Grande do Sul this can be found in abundance due to the fact that it is one of the largest rice producers in the country. The aim of this study was to study and develop an experimental program for the production of soil-cement bricks using sandy soil from a reservoir located in the city of Alegrete, RS, with the use of different percentages of CCA as stabilizing agent. For the comparisons, soil moldings were carried out without the inclusion of stabilizing agent and moldings with different materials with different contents and, thus, compared and proved the performance of each trait studied. Physical and chemical characterization tests were carried out in different levels of the ash and cement, Mini Proctor (MCT) tests to determine the optimum soil mix, tests of resistance to simple compression (RCS) of the bricks in all the traits studied and absorption of water from bricks. The absorption results were satisfactory, while those of simple compressive strength were not adequate for the requirement of the standard.

**Keywords:** Soil Stabilizing; Soil-cement; Rice Husk Ash.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tijolo de solo-cimento .....	24
Figura 2 – Localização da jazida .....	27
Figura 3 – Filtro da empresa CAAL.....	28
Figura 4 – Cinza de casca de arroz após peneiramento .....	30
Figura 5 – Provetas de cimento e CCA .....	33
Figura 6 – Aparelho de ensaio de compactação Mini Proctor.....	34
Figura 7 – Macaco hidráulico para a extração de CP.....	34
Figura 8 – Amostras de solo.....	36
Figura 9 – Amostras de Solo+ Cimento + CCA.....	36
Figura 10 – Amostras de 180 g.....	37
Figura 11 – Corpos de prova .....	37
Figura 12 – Mistura manual dos materiais .....	39
Figura 13 – Moldagem dos tijolos.....	39
Figura 14 – Armazenagem dos tijolos para cura .....	40
Figura 15 – Processo de capeamento dos tijolos .....	41
Figura 16 – Ensaio de compressão simples .....	42
Figura 17 – Curvas resultantes do ensaio físico-químico.....	44
Figura 18 – Ensaio de Mini Proctor para as misturas .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para a seleção de solos apropriados.....	26
Tabela 2 – Traços empregados na elaboração dos tijolos .....	45
Tabela 3 – Ensaio de absorção dos CP's de solo-cimento .....	47
Tabela 4 – Ensaio de absorção dos CP's de solo-cimento com adição de cinza.....	47
Tabela 5 – Ensaio de absorção dos CP's de solo-cimento com substituição de cinza .....	48
Tabela 6 – RCS dos CP's aos 7 dias de idade .....	49
Tabela 7 – RCS dos CP's aos 28 dias de idade .....	50

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAAL – Cooperativa Agroindustrial de Alegrete

CCA – Cinza de Casca de Arroz

hi – Umidade Higroscópica

IRGA – Instituto Rio Grandense de Arroz

MEAS – Massa Específica Aparente Seca

MFQ – Método Físico Químico

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

RCS – Resistência à Compressão Simples

SC – Solo Cimento

SCCA – Solo Cimento Cinza Adição

SCCS – Solo Cimento Cinza Substituição

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Histórico do Solo-Cimento.....	15
2.2	Estabilização do Solo com Cimento.....	16
2.2.1	O Cimento .....	16
2.2.2	O Solo.....	17
2.2.3	Solos Adequados para a Estabilização com Cimento.....	17
2.2.4	Alteração das Propriedades Mecânicas dos Solos com Adição de Cimento.....	18
2.3	Método Físico- Químico.....	19
2.4	Cinza de Casca de Arroz (CCA).....	20
2.4.1	Influência da Temperatura de Queima da CCA .....	20
2.4.2	Influência da Moagem da CCA .....	21
2.4.3	Índice de Pozolanidade da CCA .....	21
2.5	Tijolos de Solo-Cimento.....	22
2.5.1	Processo de Fabricação dos Tijolos de Solo-Cimento .....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	Materiais .....	27
3.1.1	O Solo.....	27
3.1.2	O Cimento .....	28
3.1.3	A Água.....	28
3.1.4	A Cinza de Casca de Arroz.....	28
3.2	Metodologia.....	29
3.2.1	Etapa 1- Coleta e Caracterização dos materiais.....	29
3.2.2	Etapa 2 - Definições das Dosagens e Composições de Solo - Cimento – Cinza.....	30
3.2.3	Etapa 3 – Moldagem e Caracterização Físico-Mecânica dos Tijolos .....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44

4.1	Caracterização Física dos Materiais Utilizados.....	44
4.2	Ensaio de Compactação Mini Proctor .....	45
4.3	Ensaio de Absorção de Água.....	47
4.4	Ensaio de Resistência à Compressão Simples.....	48
5	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje há cada vez mais a busca por alternativas sustentáveis na construção civil. Desta forma, esta área tem recebido grande parte de suas pesquisas voltadas a sistemas e métodos que visam a sustentabilidade e o reaproveitamento de resíduos que anteriormente não eram corretamente descartados. Em meio a tantas tecnologias encontram-se os mais diversificados métodos que vão desde as construções convencionais que utilizam de tecnologias de ponta até aquelas com tecnologias e materiais não convencionais. Nesta última, estão os métodos conhecidos como ecologicamente corretos e de baixa economia, onde se enquadra o uso do solo-cimento e suas aplicações.

No que diz respeito ao solo-cimento, mistura de terra crua (solo), cimento e água, o mesmo possui grande vantagem em relação a outros materiais devido a ser um grande aliado do meio ambiente em relação ao seu processo de fabricação sustentável.

De acordo com Segantini e Carvalho (2000), o solo-cimento foi introduzido no Brasil em 1936, pela Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Este acontecimento se deu devido à necessidade de diminuir custos na fabricação de habitações populares. Mas seu emprego só aconteceu doze anos depois na construção de habitações populares do Vale Florido, na Fazenda Inglesa em Petrópolis, Rio de Janeiro (ABCP, 1985). Apesar de hoje já ser uma tecnologia muito conhecida, ainda não há uma aceitação por inteira no mercado para com a tecnologia do solo-cimento, o que deveria ser o contrário, pois o solo é um material em abundância na natureza e de fácil acesso, podendo facilitar a sua utilização para a construção de habitações de baixo custo e que agregado a outros resíduos poluentes da natureza pode trazer grandes benefícios à população e ao meio ambiente. Um desses resíduos é a cinza de casca de arroz gerada nas unidades beneficiadoras de arroz, uma das grandes atividades rentáveis ao homem que costuma produzir grande parcela de resíduos sólidos poluentes muitas vezes sem o destino final ambientalmente correto.

A cinza da casca do arroz (CCA) é um resíduo obtido através da queima da casca do arroz em fornalhas, a céu aberto ou em fornos especiais à temperatura controlada (MILANI, 2008).

Em busca de soluções que minimizem as degradações ambientais e ao mesmo tempo reduzam os custos do produto final, iniciou-se a busca por alternativas e o desenvolvimento de técnicas e materiais eficientes que pudessem facilitar cada vez mais a sua fabricação e diminuir os seus aspectos poluentes tornando assim seu valor cada vez menor. Em meio a essa busca pesquisadores têm proposto o solo como uma das alternativas para a construção civil. Com isso, a estabilização de solo-cimento tem se mostrado um ótimo aliado para a construção civil. Neste contexto o presente trabalho tem por objetivo verificar o potencial de fabricação de tijolos de solo cimento com acréscimo de cinza de casca de arroz empregando materiais da região de Alegrete – RS.

Como objetivos específicos tem-se:

- avaliar o método Mini Proctor para determinação da umidade ótima de moldagem;
- verificar o comportamento do solo quando acrescentado cimento ao mesmo através da resistência de tijolos de solo cimento;
- avaliar a resistência dos tijolos de solo cimento quando acrescentados de cinza de casca de arroz;
- analisar a absorção dos tijolos, avaliando seu comportamento após adição de cinza de casca de arroz.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo serão abordados tópicos que darão embasamento à pesquisa como: mecanismos e efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de estabilização dos solos com cimento; processos de ensaios de caracterização do solo; ensaios físicos do solo; tijolos de solo-cimento e seus processos de fabricação; cinza de casca de arroz e suas propriedades.

### **2.1 Histórico do Solo-Cimento**

O solo, devido à sua facilidade de obtenção, aparece como solução arquitetônica com constância ao longo da história humana, e isso se deve também pelo fato de ser de fácil manuseio e, com isso, ele tem sido usado desde os primórdios da humanidade como a primeira alternativa do homem em locais onde a utilização de pedras e madeira se mostrava difícil (GRANDE, 2003).

Ainda, segundo Mazzeo Grande (2003) os registros de uso de tijolos de terra secos ao sol vêm desde antes do ano 4000 a.C. Em lugares como o Egito antigo, a Babilônia e a Assíria, existem relatos da utilização da técnica de adobe para o melhoramento do uso do solo para técnicas construtivas.

Barbosa e Ghavami (2010) afirmam que os portugueses foram os pioneiros das técnicas com terra na construção, para a confecção de moradias, prédios públicos e igrejas.

De acordo com Pitta (1995), o surgimento do solo-cimento como material na construção civil aconteceu na tentativa de utilização na pavimentação de uma rua, em 1915, na cidade de Sarasota, Flórida (EUA). O material utilizado foi uma mistura de conchas, areia de praia e cimento Portland. Nesse sentido, frisa-se que o resultado não se mostrou suficiente.

Conforme Segantini e Carvalho (2000), o solo-cimento foi introduzido no Brasil em 1936, pela Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Este acontecimento se deu devido à necessidade de diminuir custos na fabricação de habitações populares. Mas seu emprego só aconteceu doze anos depois, na construção de habitações populares do Vale Florido, na Fazenda Inglesa em Petrópolis, Rio de Janeiro (ABCP, 1985).

Lima (2006) destaca um fato de grande relevância para a maior aceitação do solo-cimento como material de construção, que foi a construção do Hospital Adriano Jorge, do Serviço Nacional de Tuberculose, em Manaus, o qual ainda está sendo utilizado e apresenta bom estado de conservação.

Alguns exemplos relevantes do uso da técnica de solo-cimento são a Grande Muralha da China, que data do ano 3000 a.C., edificações com mais de 10 pavimentos e 400 anos de idade em bom estado de conservação no Irã, Iraque e Iêmen e em Santa Fé, na Argentina, o convento de São Francisco (TAVEIRA, 1987).

## **2.2 Estabilização do Solo com Cimento**

Solo-cimento é a ação cimentante do aditivo cimento nos grãos do solo através de reações de hidratação e hidrólise. É o produto resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo.

De acordo com ABCP (1986), a estabilização solo-cimento é o produto da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas que, após compactação e cura úmida, resulta num produto com características mínimas exigidas de resistência mecânica e durabilidade.

Segundo Ingles e Metcalf (1972), a estabilização de solos é uma técnica através da qual se busca uma melhoria das características de comportamento do solo, especialmente em termos de resistência, deformabilidade, durabilidade e permeabilidade. A adição de cimento representa um processo de estabilização físico química do solo.

### **2.2.1 O Cimento**

De acordo com a especificação brasileira EB/1 da ABNT NBR 5732/1991, o Cimento Portland comum pode ser definido como um aglomerante hidráulico obtido da moagem do clínquer Portland, ao qual se adiciona durante a moagem, a quantidade necessária de sulfato de cálcio (gesso) com a finalidade de regular o início da hidratação ou o tempo inicial de “pega”.

Este material possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra.

### **2.2.2 O Solo**

Material abundante na natureza e um dos mais antigos utilizados pelo homem na construção, o solo está presente em quase todos os tipos de obras. A palavra solo pode ter várias definições de acordo com a área profissional em que é aplicado. Em Mecânica dos Solos a palavra tem um significado específico voltado para a Engenharia e alguns autores o definem de diferentes formas.

De acordo com Das (2007), o solo é definido como agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com líquido e gás nos espaços vazios entre as partículas sólidas. Enquanto para Caputo (1983), os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou decomposição química.

Vargas (1977) salienta que sob o ponto de vista puramente técnico, aplica-se o termo solo a materiais da crosta terrestre que servem de suporte, são arrimados, escavados ou perfurados e utilizados nas obras de Engenharia Civil.

### **2.2.3 Solos Adequados para a Estabilização com Cimento**

Dentre os solos existem diferentes classes de classificação. Alguns deles são mais adequados para determinadas aplicações e outros inadequados, como é o caso dos solos orgânicos que na maioria das vezes são dispensados quando se trata de engenharia.

De acordo com ABCP (1985), os solos granulares são mais indicados em relação aos argilosos, pois conseguem atingir resistências mais elevadas, com menores teores de cimento. Já os solos finos requerem maiores quantidades de aglomerantes além de serem de difícil pulverização e mistura.

Segundo Vargas (1977), a estrutura de um solo é definida como o arranjo ou configuração das partículas do solo entre si. Entre os fatores que afetam a estrutura do solo estão a forma, o

tamanho e composição mineralógica das partículas. Em geral, os solos classificam-se em dois grandes grupos:

- **Coesivos:** Solos finos, argilosos, compressíveis;
- **Não coesivos:** Solos arenosos, não compressíveis (o contato ocorre grão a grão).

Croft (1967) destaca ainda que alguns argilominerais interferem nas reações do cimento. Solos que possuem argilas muito expansivas são difíceis de estabilizar pela adição de cimento.

#### **2.2.4 Alteração das Propriedades Mecânicas dos Solos com Adição de Cimento**

De maneira geral, a estabilização de solos com cimento provoca alterações em suas propriedades e estas alterações, dependem das características específicas do solo e da adição, do teor de adição, da quantidade de água, do tipo e grau de compactação, do tempo de compactação, da temperatura, entre outras.

Esta estabilização acontece devido ao desenvolvimento das reações químicas que são geradas na hidratação do cimento (mistura do cimento com água) (MARQUES, 2003).

Os principais fatores de acordo com Marques (2003), que influenciam na estabilização solo-cimento são:

- **Tipo de Solo:** todo solo pode ser estabilizado com cimento, porém, os solos arenosos são mais eficientes que os argilosos por exigirem baixos teores de cimento;
- **Presença de materiais no solo nocivos ao cimento:** a presença de matéria orgânica no solo afeta a hidratação do cimento devido à absorção dos íons de cálcio gerados, resultando uma queda no PH da mistura;
- **Teor de cimento:** a resistência da mistura solo-cimento aumenta com o teor de cimento para um mesmo tipo de solo. O teor de cimento depende do tipo de solo, quanto maior a porcentagem de silte e argila, maior será o teor de cimento exigido;

- **Teor de umidade da mistura:** o acréscimo de cimento ao solo tende a produzir um acréscimo no teor de umidade e um decréscimo na massa específica seca máxima, devido à ação flocculante do cimento;
- **Operações de mistura e compactação:** recomenda-se que a compactação deva iniciar-se logo após a mistura e complementada dentro de duas horas;
- **Tempo e condições de cura:** a mistura solo-cimento ganha resistência por processo de cimentação das partículas durante vários meses ou anos, sendo maior nos 28 dias iniciais. Neste período deve ser garantido um teor de umidade adequado à mistura compactada. Diferentemente do concreto, a temperatura de cura deve ser elevada para propiciar elevadas resistências.

Ainda, em relação à mistura, Prietto et al. (1997) afirmam que a adição de cimento provoca um aumento significativo na rigidez do solo.

### 2.3 Método Físico- Químico

Macêdo (2004) diz que “este método não é ainda normalizado no Brasil, mas tem sido empregado em inúmeros trabalhos desde 1981”.

O Método Físico-Químico foi inicialmente proposto pelo “Central Road Research Institute of India”, para dosagens de misturas solo-cimento, por ser um método simples e rápido, o qual é fundamentado na interação elétrica entre as partículas de cimento e de argila do solo (CHADDA, 1971).

Ainda, segundo Chadda (1971), a partir da interação elétrica entre as partículas de solo-cimento é possível determinar o percentual de cimento para manter a mistura estável. Ou seja, o mínimo teor de cimento necessário para uma determinada mistura de solo-cimento é aquele que produzir a máxima variação volumétrica em suspensão na estabilização deste solo.

O procedimento de dosagem será visto ao longo do trabalho quando se tratar das metodologias de ensaio.

## **2.4 Cinza de Casca de Arroz (CCA)**

De acordo com pesquisas, no Brasil a produção de arroz é aproximadamente de 10 milhões de toneladas por ano, sendo o Estado do Rio Grande do Sul responsável por 49,5% dessa produção. O município de Alegrete/RS produz, em média, aproximadamente 437.000 toneladas de arroz por ano, segundo informações do IRGA, sendo que a cada 36 toneladas de arroz produzido, 1 tonelada é de casca (ALI et al., 1992), com isso, Alegrete é responsável por gerar aproximadamente 110.000 toneladas de casca de arroz.

A casca de arroz produz uma quantidade significativa de resíduos e, conseqüentemente, de cinzas quando submetida à queima nas caldeiras para geração de energia em unidades de beneficiamento de arroz.

Souza (2003) destaca que a cinza de casca de arroz proveniente da combustão (controlada ou não controlada) da casca de arroz, adquire propriedades pozolânicas quando submetida ao processo de moagem fina e, com isso, vindo a reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento para, assim, formar compostos cimentantes semelhantes àqueles da hidratação do cimento.

Cordeiro (2006) afirma que a cinza produzida nas caldeiras apresenta normalmente uma cor escura de elevado teor de carbono, que apresenta uma parte da sílica cristalina.

### **2.4.1 Influência da Temperatura de Queima da CCA**

Uma das variáveis com influência direta nas características físicas e químicas da cinza é a temperatura a qual a amostra será exposta, tanto pela sua magnitude, quanto pelo tempo de exposição (SOUZA, 2003).

Mehta (1992) expôs que em situações de queima da casca de arroz em temperaturas baixas (400 a 600°C) e pequeno tempo de exposição a esta temperatura, a sílica contida na cinza é amorfa.

Quando submetida a processo de queima controlada, a sílica é amorfa, caracterizada por uma alta reatividade (CHANDRASEKHAR et al., 2003).

Ainda, segundo Chandrasekhar et al. (2003), a casca quando queimada por inteiro, resulta em uma cinza de cor acinzentada, branca ou púrpura, variando de acordo com as impurezas presente e suas condições de queima. Enquanto queimada parcialmente a casca de arroz provoca a decomposição da parte orgânica e a quebra de suas ligações, gerando, assim, uma cinza com certo teor de carbono e, por isso, de cor preta.

Nair et al. (2008) constatam que temperaturas de 500 a 700°C estão entre as condições ótimas para a formação de CCA's reativas.

#### **2.4.2 Influência da Moagem da CCA**

Um dos fatores mais importantes é a moagem da CCA, a qual modifica as propriedades físicas da cinza, como a superfície específica e finura, as quais estão ligadas diretamente à trabalhabilidade. Nas CCA's as partículas são originalmente aciculares, após o processo de moagem elas vêm a adquirir formato esférico (SOUZA, 2008).

Num estudo da alteração na superfície específica em função de tempo de moagem 3 a 70 minutos Bui et al. (2005) afirmaram que a superfície específica das amostras se mostraram crescentes até o tempo de 30 minutos, após, houve uma diminuição.

Guedert (1989), em estudo semelhante, com tempos de 1, 2, 4 e 8 horas, constatou um aumento crescente das superfícies específicas e da pozolanicidade com o aumento do tempo de moagem.

#### **2.4.3 Índice de Pozolanicidade da CCA**

De acordo com a ABNT NBR 12653/1992, pozolana é definida como um material que possui pouca ou nenhuma atividade cimentante, mas que nas proporções corretas e à temperatura ambiente, quando na presença de água é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio formando compostos com propriedades cimentantes conhecidas como reações pozolânicas.

No decorrer do processo de queima da casca, há uma perda de matéria orgânica, resultando em um resíduo rico em sílica (cerca de 95 a 98%) e carbono em menores parcelas. Na presença de água essa sílica reage com o hidróxido de cálcio, principal responsável pela

resistência e durabilidade da pasta cimentícia hidratada, característica das pozolanas e sendo assim, denominada reação pozolânica (TIBONI, 2007).

De acordo com Weber (2001), as pozolanas agem de duas maneiras nos concretos: quimicamente por meio de reações pozolânicas e fisicamente através do efeito “*filler*”, em que as partículas da adição mineral, por serem menores, interagem entre os grãos de cimento, preenchendo os vazios e, com isso, diminuindo a porosidade da pasta e interferindo na orientação preferencial dos cristais de hidróxido de cálcio.

Ainda, de acordo com Weber (2001), a reatividade da CCA está ligada diretamente com a temperatura de queima, pois seu teor de sílica amorfa se dará através dessa temperatura. Quanto maior a temperatura e o tempo de exposição a ela, menor índice reativo terá a cinza obtida.

Portanto, é possível afirmar que o índice de Pozolanidade da CCA está ligado diretamente com a temperatura de queima e ao seu processo de moagem, pois, de acordo Souza (2014), sua reatividade será maior quando o diâmetro médio do material for menor e, conseqüentemente, sua superfície específica mais elevada.

## **2.5 Tijolos de Solo-Cimento**

Os tijolos de solo-cimento fazem parte das alternativas sustentáveis mais econômicas utilizadas na construção civil e também costumam ser chamados de Tijolos Modulares, em função de seu encaixe uns nos outros em um sistema de trilho.

Nesse sentido, Sala (2006) entende que:

O tijolo ecológico ou de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados; seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial (SALA, 2006, p.39).

Os solos mais adequados para a confecção destes tijolos são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Em caso de indisponibilidade de um solo com as características adequadas deve-se analisar a possibilidade de acrescentar à mistura dois ou mais solos, ou até mesmo

adicionar areia grossa, de forma que o resultado seja favorável em termos técnicos e econômicos (SOUZA et al., 2008).

De acordo com Oliveira et al. (2014), no que diz respeito às vantagens da utilização do método, podem ser citados diversos aspectos, entre eles destacam-se, a utilização de matéria prima natural de alta disponibilidade e de custo reduzido, uma vez que o solo é o material em maior percentual na mistura e pode ser utilizado do próprio local da construção da obra.

ABCP (1999) destaca que em habitações populares a utilização de tijolos de solo-cimento permite grande economia, reduzindo os custos em até 40%. Essa redução está ligada ao baixo custo do solo, material em abundância, diminuição de custos com transporte e energia, possibilidade de redução de custos com mão-de-obra, pois o processo dispensa profissionais especializados em construção (FERRAZ, 2004).

Já a fabricante CONSTRUVAN (2016) afirma que o uso do tijolo de solo-cimento apresenta uma economia no custo final da obra em até 50% em relação ao uso do tijolo convencional, e seu tempo de construção, de 30% relativo à obra convencional, acaba favorecendo o alinhamento e prumo das paredes.

Silva (2009) destaca que existem diversas diferenças entre o sistema construtivo tradicional e o modular com tijolos de solo-cimento. Dentre as diferenças pode-se destacar nos tijolos de solo-cimento uma folga pequena na junção, que tem a finalidade de prevenir a dilatação devido às ações da temperatura, se expandindo no calor, e se retraíndo no frio, é importante preservar uma distância de dois milímetros entre um módulo e outro (CONSTRUVAN, 2016).

O tijolo de solo-cimento possui dois furos internos que ficam sobrepostos, conforme Figura 1. Os furos permitem a passagem de instalação elétrica e hidráulica, dispensando a quebra das paredes e, conseqüentemente, a geração de resíduos sólidos que venham a poluir o meio ambiente (SOUZA, 2006).

Sua alvenaria modular e uniforme dispensa a utilização de argamassa de assentamento e revestimento, podendo ser de alvenaria aparente, necessitando apenas de pintura impermeável.

Figura 1 – Tijolo de solo-cimento



Fonte: Próprio Autor ( 2016)

Pisani (2005) destaca seu benefício termo acústico, proporcionado pelos furos no meio dos tijolos que formam câmaras de ar, o que torna o ambiente agradável e com pouco gasto energético.

Segundo Carvalho e Poroca, apud Carneiro (2001), também é necessário destacar os benefícios termo acústicos dos tijolos de solo-cimento e de sua durabilidade, a qual equivale à dos tijolos ou blocos cerâmicos queimados. Salienta-se ainda a sua utilização em alvenaria de vedação ou estrutural quando atendidas as resistências estabelecidas nos critérios de projeto, os quais são os mesmos aplicados para alvenaria convencional, assim como devem adotar as indicações de cuidados e manutenção do material.

Segundo Mota et al. (2010), a resistência à compressão do tijolo de solo-cimento equipara-se à do tijolo convencional e, após 240 dias de idade, continua crescendo devido à reação do cimento tornar-se cada vez mais lenta (SOUZA et al., 2008).

Os tijolos ecológicos são mais leves que os comuns, o que proporciona uma economia da fundação, conforme a empresa Eco Construtora Favaretto (2016).

Outra vantagem dos tijolos de solo-cimento é a capacidade de incorporar outros materiais na mistura durante sua fabricação, como por exemplo, agregados produzidos com entulho

reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto forno e outros (CARNEIRO et al. 2001).

### **2.5.1 Processo de Fabricação dos Tijolos de Solo-Cimento**

Segundo Pisani (2005), a produção de tijolos solo-cimento varia de acordo com a finalidade de sua utilização (revestimentos, resistência, aparente, etc) e com o processo a ser utilizado (manual, mecânico ou híbrido).

Grande (2003) destaca que o empacotamento dos grãos de solo, depois de prensados, interfere diretamente na qualidade do tijolo de solo-cimento. A prensa, equipamento utilizado para a moldagem e compactação, tem papel fundamental na qualidade final do produto e obtenção de um tijolo com características satisfatórias. Este mesmo autor ainda salienta que essas prensas podem ser manuais ou motorizadas e com capacidade de produção entre 300 e 12.000 unidades/dia.

Conforme ABCP (1985), o processo de fabricação dos tijolos envolve as seguintes etapas:

- **Preparação do solo:** que consiste em destorroar e peneirar o solo seco.
- **Preparo da mistura:** adiciona-se o cimento ao solo preparado e realiza-se uma homogeneização dos materiais secos; depois, adiciona-se água e mistura-se o material até uniformizar-se a umidade do solo.
- **Moldagem dos tijolos:** pode ser efetuada em prensas manuais ou hidráulicas.
- **Cura e armazenamento:** durante os sete primeiros dias os tijolos devem ser mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens.

Os processos de fabricação dos tijolos de solo-cimento devem atender às seguintes normas de acordo com a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT):

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8491: Tijolo solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

De acordo com Souza et al. (2008), os solos mais adequados para a confecção destes tijolos são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Em caso de indisponibilidade de um solo com as características adequadas deve-se analisar a possibilidade de acrescentar à mistura dois ou mais solos, ou até mesmo adicionar areia grossa, de forma que o resultado seja favorável em termos técnicos e econômicos.

A ABNT NBR 10833/2013 apresenta os solos apropriados para a fabricação de componentes de alvenaria, conforme as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios para a seleção de solos apropriados

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>REQUISITO</b>
% passando na peneira ABNT 4,8 mm (n° 4)	100
% passando na peneira ABNT 0,075 mm (n° 200)	10 a 50
Limite de Liquidez	≤ 45
Limite de Plasticidade	≤ 18

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 10833/2013, p. 2

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

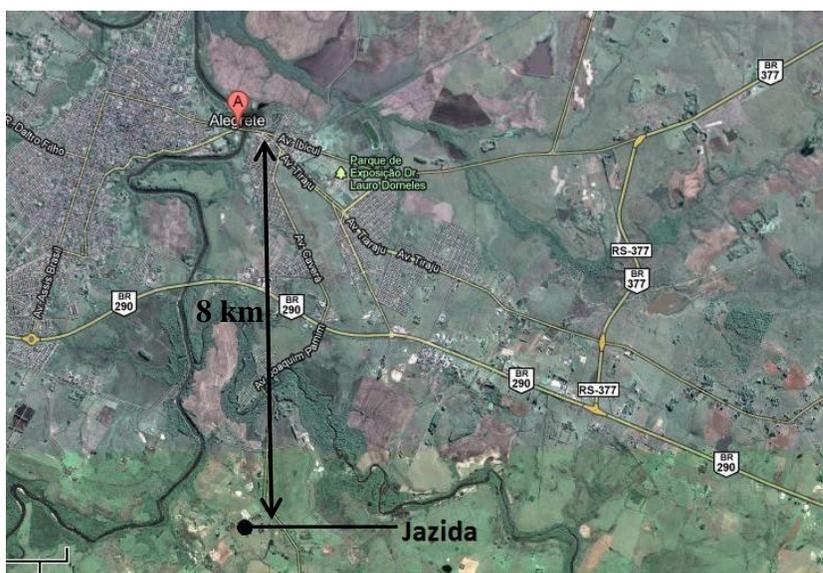
Esta seção tem como finalidade especificar os materiais empregados bem como a metodologia a eles associada para a elaboração da pesquisa.

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 O Solo

O solo utilizado nesta pesquisa é de predominância arenosa, proveniente de uma jazida que está localizada no 6º Subdistrito, Estrada Alegrete/Catimbau, próximo ao Balneário Caverá, a aproximadamente 8 km do centro da cidade de Alegrete/RS, conforme Figura 2. Essa jazida pertence à empresa “Pedra Rosada”.

Figura 2 – Localização da jazida



Fonte: Imagem adaptada de Klamt (2012)

### 3.1.2 O Cimento

Foi utilizado como material aglomerante o Cimento Portland CP IV– 32 RS, visto que é comercializado na região e amplamente utilizado na construção civil. Este foi armazenado em local seco e livre de agentes que pudessem vir a causar sua hidratação.

### 3.1.3 A Água

A água utilizada foi do sistema de abastecimento da UNIPAMPA, a qual é própria para consumo e, portanto, livre de impurezas para que se evitem reações com os aglomerantes.

### 3.1.4 A Cinza de Casca de Arroz

A CCA empregada neste trabalho foi cedida pela empresa CAAL (Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda.), a qual se localiza no município de Alegrete/RS e é originada da queima da casca de arroz em caldeiras dos galpões da empresa conforme Figura 3. A queima da casca de arroz no forno ou secagem do arroz não é feita à temperatura controlada. Visto que não foram realizados ensaios para definir sua porcentagem de sílica, não foi possível definir seu índice de Pozolanicidade. Devido ao fato de estudos afirmarem que as CCA's que apresentarem coloração clara possuem um maior teor de sílica e, neste caso, a cinza possuir coloração escura, conforme mostrado mais adiante, acredita-se que a cinza utilizada nos ensaios possui baixa atividade pozolânica.

Figura 3 – Filtro da empresa CAAL



Fonte: Imagem adaptada de Klamt (2012)

## **3.2 Metodologia**

Visando a utilização do solo em questão e a adição da cinza de casca de arroz para a fabricação de tijolos utilizando misturas de solo/cimento e solo/cimento/CCA, o trabalho foi realizado com a finalidade de se obter resultados de resistências à compressão em diferentes idades de tijolos confeccionados com tais misturas em distintos percentuais de cimento e cinza.

Para isso, a metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas:

- **Etapa 1-** Coleta e Caracterização dos Materiais;
- **Etapa 2-** Definições das Dosagens e Composições de Solo – Cimento – Cinza;
- **Etapa 3-** Moldagem e Caracterização Físico – Mecânica dos Tijolos.

### **3.2.1 Etapa 1- Coleta e Caracterização dos materiais**

#### **3.2.1.1 Solo**

As amostras de solo para toda a pesquisa foram coletadas utilizando uma pá, e armazenadas em sacos plásticos devidamente fechados e, posteriormente, levados ao laboratório a fim de retirar uma parcela e colocar em cápsulas metálicas para, assim, determinar o teor de umidade desse solo. O solo restante foi armazenado em uma caixa de polietileno devidamente fechada e, posteriormente, foi seco em estufa em temperatura de 60° C. Após secagem, foi destorroado e passado nas peneiras de acordo com cada ensaio.

#### **3.2.1.2 Cinza de Casca de Arroz (CCA)**

A coleta da CCA foi realizada diretamente dos silos de armazenagem da CAAL. Ela apresenta sua coloração escura em função da quantidade de matéria orgânica presente em sua composição química. Para sua utilização certificou-se que estivesse livre de qualquer impureza visível, e a mesma foi peneirada na peneira ASTM 0,59 mm (n°. 30), para que se obtivesse uma granulometria mais fina, como mostrada na Figura 4, a fim de preencher os vazios agindo como efeito “filler” e também para que com isso se obtivesse um aumento na resistência dos tijolos. Foi dispensado o uso de moagem pelo fato de que a pesquisa visa estudar a cinza em seu estado natural, passando por peneiramento apenas para retirada de possíveis materiais indesejados como

pequenas partículas da casca do arroz ainda não queimados e, com isso, já diminuindo, conseqüentemente, sua granulometria. Depois de peneirada foi armazenada em sacos plásticos livre de umidade e devidamente vedados.

Figura 4 – Cinza de casca de arroz após peneiramento



Fonte: Próprio autor (2016)

### **3.2.2 Etapa 2 - Definições das Dosagens e Composições de Solo - Cimento – Cinza**

#### **3.2.2.1 Ensaio Físico-Químico entre o Cimento e a Cinza**

Com o propósito de verificar qual a melhor proporção de materiais, foi realizado o ensaio físico-químico. Por meio deste ensaio é possível identificar, por exemplo, qual o mínimo teor de cimento necessário para se obter uma máxima interação físico química entre o solo e o cimento, bem como qual a proporção onde ocorrerá uma maior interação entre o cimento e a cinza.

A metodologia empregada no estudo físico-químico do cimento e da cinza de casca de arroz seguiu o descrito a seguir nos itens de 1 a 12 (MARCONDES, 1992):

1) Utilizam-se, em média, sete provetas de 250 ml marcando-as com as porcentagens do cimento (% Ci), (ex: 0%, 3%, 5%, ....);

- 2) Pesa-se 20 g do solo, seco ao ar, destorroado e passado na peneira nº 10, colocando igual quantidade em cada proveta;
- 3) Adicionam-se as quantidades de cimento, em porcentagens por peso de solo, nas respectivas provetas;
- 4) Mistura-se o solo e o cimento ainda secos, agitando-se as provetas;
- 5) Coloca-se aproximadamente 50 ml de água destilada e agita-se as provetas até que ocorra a homogeneização completa da mistura;
- 6) Completa-se o volume para 100 ml, lavando as paredes das provetas, e coloca-se em repouso absoluto até o dia seguinte.

Obs.: No caso de haver dispersão do solo na água (proveta 0%), coloca-se algumas gotas de HCl (ácido clorídrico) antes de completar o volume, a fim de flocular a argila dispersa, permitindo assim, uma melhor definição da leitura. É necessário que o lugar de apoio das provetas não sofra qualquer tipo de vibração.

- 7) No dia seguinte, agita-se a mistura com auxílio de um bastão de metal até ficar bem homogênea;
- 8) Após no mínimo 2 horas faz-se a leitura do volume ocupado pelo sedimento;
- 9) No terceiro dia, agita-se novamente e faz-se a leitura após no mínimo 2 horas;
- 10) Repete-se esta operação todos os dias até obter-se leituras constantes ou decrescentes;
- 11) Monta-se uma tabela com as porcentagens de cimento e as leituras de cada dia. Calcula-se a variação volumétrica percentual (% $\Delta V$ ) do sedimento solo-cimento em relação àquela do solo puro (0%), para os diversos teores de cimento, escolhendo para o cálculo, o maior volume obtido para cada teor. De acordo com a Equação 1:

$$\Delta V(\%)_{(teor)} = \frac{V_{m\acute{a}x(teor)} - V_{m\acute{a}x(0\%)}}{V_{m\acute{a}x(0\%)}} \cdot 100$$

Equação (1)

12) Faz-se um gráfico de variação volumétrica (%) versus Cimento (%). O ponto máximo de variação volumétrica corresponde ao teor mínimo de cimento requerido para a “satisfação” físico-química do solo.

Com isso, foi realizado o ensaio físico-químico entre o cimento e a cinza para que se pudesse determinar o menor teor de cimento requerido para determinado percentual de cinza. Os percentuais de adição de cinza variaram de 0 a 100% em relação à quantidade de cimento adotada (15 g).

A metodologia de ensaio consistiu em peneirar a CCA na peneira de nº 10 a fim de obter uma granulometria menor, uniforme, e livre de resíduos da casca de arroz ainda presentes após a queima. Após, pesou-se 15 gramas de cimento em uma balança de precisão para cada proveta em um total de 11, conforme Figura 5. As amostras foram colocadas em provetas de 100 ml e misturadas a seco através da agitação com os percentuais de cinza para que houvesse a homogeneização de ambos. Os percentuais de cinza foram adicionados em ordem crescente de 0 a 100% e as provetas foram identificadas. Foram adicionados 50 ml de água destilada em cada uma das provetas, logo após a mistura da cinza com o cimento, seguindo-se a agitação até a homogeneização completa da mistura. Agitou-se a suspensão durante 1 minuto, aproximadamente, e colocou-se a proveta em repouso em ambiente a temperatura constante e em local fixo, de forma a não sofrer qualquer tipo de vibração. A primeira leitura foi realizada após 24 horas da mistura da CCA e cimento com água e colocação em repouso, conforme já descrito acima. Esta leitura será considerada a inicial e as leituras posteriores são referidas percentualmente a ela.

A cada 24 horas se fez uma nova leitura e antes de cada leitura, verificando-se a variação de volume do sedimento, e logo se agitando a mistura novamente durante 1 minuto. Para cada proveta foi identificada a variação máxima de volume do sedimento nas leituras periódicas realizadas. A qual é relacionada percentualmente à variação de volume do sedimento obtida na leitura inicial. A variação de volume máxima percentual é relacionada com o teor de cinza correspondente em cada proveta, e plota-se o teor de cinza versus a variação percentual máxima do volume do sedimento, obtendo-se uma curva cujo pico indica o teor de cinza necessário para a

“satisfação” físico-química da cinza (CERATTI, 1991; MARCONDES, 1992). O resultado do MFQ de dosagem das amostras está apresentado e comentado no capítulo 4.

Figura 5 – Provetas de cimento e CCA



Fonte: Próprio autor (2016)

### **3.2.2.2 Definição dos traços das misturas**

Para a definição dos traços de cimento e das misturas foram levados em consideração os resultados do ensaio Físico-Químico entre o cimento e a CCA, como mostram as curvas e a tabela expostas na seção 4.

### **3.2.2.3 Ensaio de Compactação Mini Proctor para determinação da umidade ótima**

Para a determinação do teor de umidade ótima das misturas optou-se pelo ensaio de Compactação de Mini Proctor de energia Normal, que tem por objetivo determinar a massa específica aparente seca (MEAS) de amostras compactadas (CP's) com diferentes teores de umidade. Para a realização do ensaio utilizou-se o aparelho miniatura de compactação, Figura 6, e dispositivo para extração do CP, como demonstra a Figura 7.

Figura 6 – Aparelho de ensaio de compactação Mini Proctor



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 7 – Macaco hidráulico para a extração de CP



Fonte: Próprio autor (2016)

O ensaio utiliza-se de amostras de solos secos e, portanto, secou-se o mesmo em estufa a 55° C até próximo da umidade higroscópica (hi) e após quarteou-se o material a fim de obter uma amostra representativa, em quantidade suficiente para realizar o ensaio. Posteriormente, o solo foi destorroado com o auxílio de um almofariz e mão de gral recoberta de borracha e, peneirado na peneira n° 10 (2,00 mm) a fim de se obter no mínimo 2,5 kg de solo passante. Durante o processo de peneiramento separou-se duas cápsulas limpas e secas e adicionou-se uma pequena parcela de solo peneirado para determinar a umidade higroscópica do solo a ser utilizado.

Após, a amostra inicial foi dividida em 6 amostras individuais de solo de aproximadamente 500 g cada, num total de 3,0 kg conforme Figura 8. O mesmo foi feito para as demais misturas como pode ser visualizado na Figura 9. Logo, adicionou-se 140 ml de água destilada como partida inicial de forma a obter uma mistura não muito seca para compor o primeiro ponto da curva. Essa mistura foi homogeneizada a fim de se obter seu teor de umidade. Esta mistura foi tapada com um plástico e deixada em reserva por alguns minutos enquanto os moldes eram devidamente limpos e lubrificados com vaselina e conferia-se o aparelho. Finalizada a lubrificação deu-se início a divisão e pesagem de amostras, cada uma com 180 g de mistura com precisão de 0,01 g, Figura 10. Dando sequência ao ensaio, com o auxílio de um funil, transferiu-se a mistura para o molde cilíndrico e aplicaram-se 5 golpes de cada lado do CP conforme energia de compactação normal, a qual foi adotada. Depois de compactado levou-se o CP para o macaco hidráulico a fim de retirar a amostra do molde e, posteriormente, verificar sua altura com o auxílio de um paquímetro e também sua massa com o auxílio de uma balança de precisão 0,01 g. O mesmo processo repetiu-se para as amostras de solo + cimento, solo + cimento + cinza (adição) e solo + cimento + cinza (substituição) e após foram armazenados em cápsulas, como pode ser observado na Figura 11, e levados para a estufa a uma temperatura de 105 °C até obter constância de massa. Após, retirou-se os CP's da estufa e refez-se a pesagem a fim de obter a massa específica aparente seca e, conseqüentemente, o teor de umidade de cada mistura através de curva de compactação.

Figura 8 – Amostras de solo



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 9 – Amostras de Solo+ Cimento + CCA



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 10 – Amostras de 180 g



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 11 – Corpos de prova



Fonte: Próprio autor (2016)

### **3.2.3 Etapa 3 – Moldagem e Caracterização Físico–Mecânica dos Tijolos**

#### **3.2.3.1 Confeção dos Tijolos**

Para a confecção dos tijolos vazados seguiram-se as recomendações na ABNT NBR 10833/2013. Foi utilizada uma prensa manual com capacidade de moldar um tijolo por vez. A dosagem das misturas foi feita de acordo com o definido na Etapa 2. Os materiais foram misturados manualmente em bacias plásticas até se obter uma mistura homogênea, conforme Figura 12.

Após a homogeneização dos materiais e adição dos teores de água conforme teores de umidade ótima calculados iniciou-se a moldagem com a colocação da mistura no dosador da prensa, para assim, ser colocada no molde, e ser realizada a prensagem manual, conforme Figura 13. Após a prensagem, os tijolos foram retirados com o devido cuidado da prensa, pois imediatamente à prensagem eles apresentam baixíssima resistência e podem vir a romper com o mínimo de impacto ou até mesmo sofrer fissuras. Por último, com o cuidado exigido pela norma foram depositados em local com temperatura controlada de 21°C e numa superfície plana e fixa, em pilhas menores que 1,5 metros como recomendado em norma, conforme Figura 14, para que recebessem a cura úmida por um período de 7 dias, por meio de molhagens sucessivas. Para cada traço foram confeccionados 20 tijolos, sendo 7 para compressão na idade de 7 dias, 7 para compressão na idade de 28 dias, 3 para absorção aos sete dias, e os restantes para caso algum eventual problema.

Figura 12 – Mistura manual dos materiais



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 13 – Moldagem dos tijolos



Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 14 – Armazenagem dos tijolos para cura



Fonte: Próprio autor (2016)

### 3.2.3.2 Ensaio de Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água 3 tijolos de cada mistura, aos sete dias de idade foram armazenados em estufa à 105°C até obterem constância de massa. Após secagem foram retirados da estufa e deixados até atingir a temperatura ambiente para que pudessem ser pesados e posteriormente verificados sua massa seca e, logo, colocados submersos em água por 24 horas. Passado o tempo mínimo de submersão os CP's foram retirados, secos superficialmente com um pano umedecido e, antes de 3 minutos, sujeitos a uma nova pesagem, verificados a sua massa de corpo de prova saturado.

A absorção de água mostra, em porcentagem, a relação entre o peso seco da amostra, e o peso saturado da mesma, de modo a apontar a quantidade de água que a amostra absorve em sua pior condição.

A determinação dos valores individuais de absorção de água, em porcentagem, é feita por meio da Equação 2, conforme ABNT NBR 8492/2012, onde se refere a massa úmida e se refere a massa seca. A absorção média foi obtida pela média aritmética das duas determinações e pode ser observada na seção 4.

$$A(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde  $m_u$  e  $m_s$  representam as massas úmida e seca dos CP's, respectivamente.

### 3.2.3.3 Ensaio de Compressão Simples

Para que os ensaios de RCS fossem realizados nos tijolos aos 7 e 28 dias de idade, seguindo as recomendações da norma em vigor, primeiramente se fez uma análise dimensional de acordo com a ABNT NBR 8492/2012 e com o auxílio de um paquímetro, após, os tijolos foram serrados ao meio, com o auxílio de uma serra circular e deu-se início ao processo de capeamento das faces inferior e superior. Esse capeamento foi realizado utilizando uma argamassa composta de cimento Portland CP IV 32- RS na proporção 1:1 com espessura máxima de 3 mm utilizando uma bancada de metal nivelada e untada, e posteriormente foi feita a junção das duas partes do corpo de prova, utilizando-se a mesma argamassa. Após 24 horas realizou-se o capeamento da outra face e, posteriormente, após o endurecimento da argamassa, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida conforme especificação da norma, na Figura 15 (a), (b) e (c) estas etapas podem ser verificadas, respectivamente. Antes de serem submetidos ao ensaio de compressão simples, Figura 16.

Figura 15 – Processo de capeamento dos tijolos



(a)



(b)



(c)

Fonte: Próprio autor (2016)

Figura 16 – Ensaio de compressão simples



Fonte: Próprio autor (2016)

A resistência à compressão simples é obtida através da divisão da força resistida pelo corpo de prova, até seu rompimento, pela área de contato do equipamento da prensa com o CP. A prensa utilizada foi do modelo EMIC, com aplicação de carga uniforme a uma razão de 1.200 N/s.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

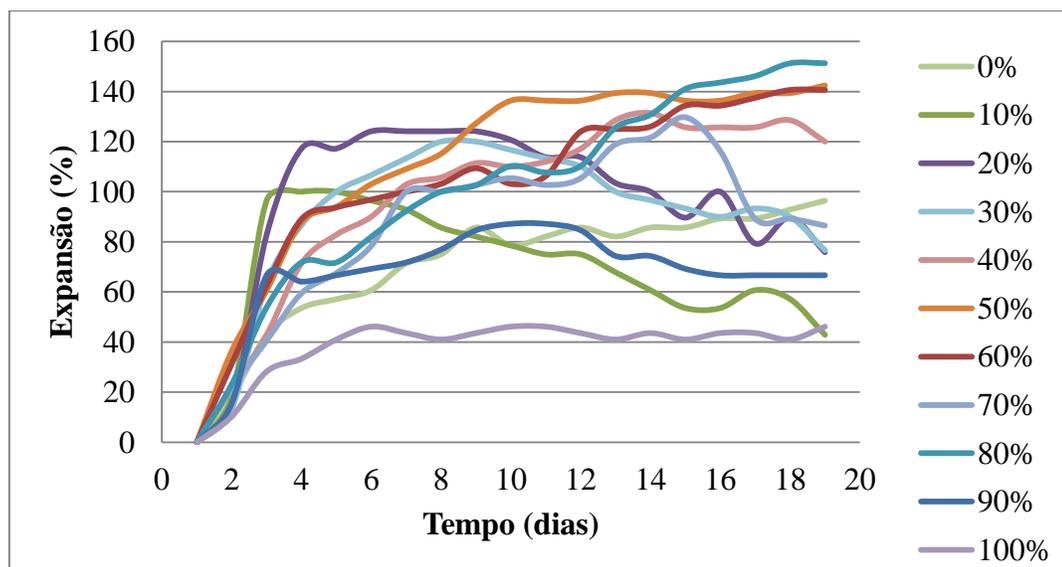
Neste capítulo estão apresentados os resultados da caracterização física dos materiais e ensaios de desempenho dos tijolos moldados.

### 4.1 Caracterização Física dos Materiais Utilizados

De acordo com a metodologia descrita no item 3.2.2.1, a caracterização física dos materiais envolvidos apresentou as curvas que serão mostradas a seguir.

O primeiro ensaio físico-químico realizado compreende apenas o cimento, em seguida foram adicionados diferentes percentuais de cinza que variaram de 10 a 100%. O valor da variabilidade máxima percentual do volume do sedimento relacionado com o teor de cinza correspondente em cada proveta resultou em uma curva cujo pico indica o teor de cinza necessário para a “satisfação” físico-química da cinza, conforme Figura 17.

Figura 17 – Curvas resultantes do ensaio físico-químico



Fonte: Próprio autor (2016)

Conforme abordado anteriormente, este ensaio resultou nas curvas mostradas na Figura 17, com 10 percentuais diferentes de adição da cinza da casca de arroz e a mistura de referência. Ao avaliar estas curvas é possível ter a obtenção do teor ideal de cinza que deverá ser empregado nas misturas que foram elaboradas e, posteriormente, realizada a moldagem dos tijolos.

Ademais, analisando as curvas percebe-se que o teor ideal de cinza obtida é de 80% da massa de cimento. Desta forma, as misturas compreendem os traços que estão definidos na Tabela 2. A adição de 10% de cimento para este tipo de solo deu-se através de estudos realizados previamente por Rodrigues (2012), o qual já havia feito um prévio estudo utilizando solo da mesma jazida, onde a resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos resultou em uma resistência de 3,06 MPa e 3,34 MPa aos 7 e 28 dias respectivamente.

Tabela 2 – Traços empregados na elaboração dos tijolos

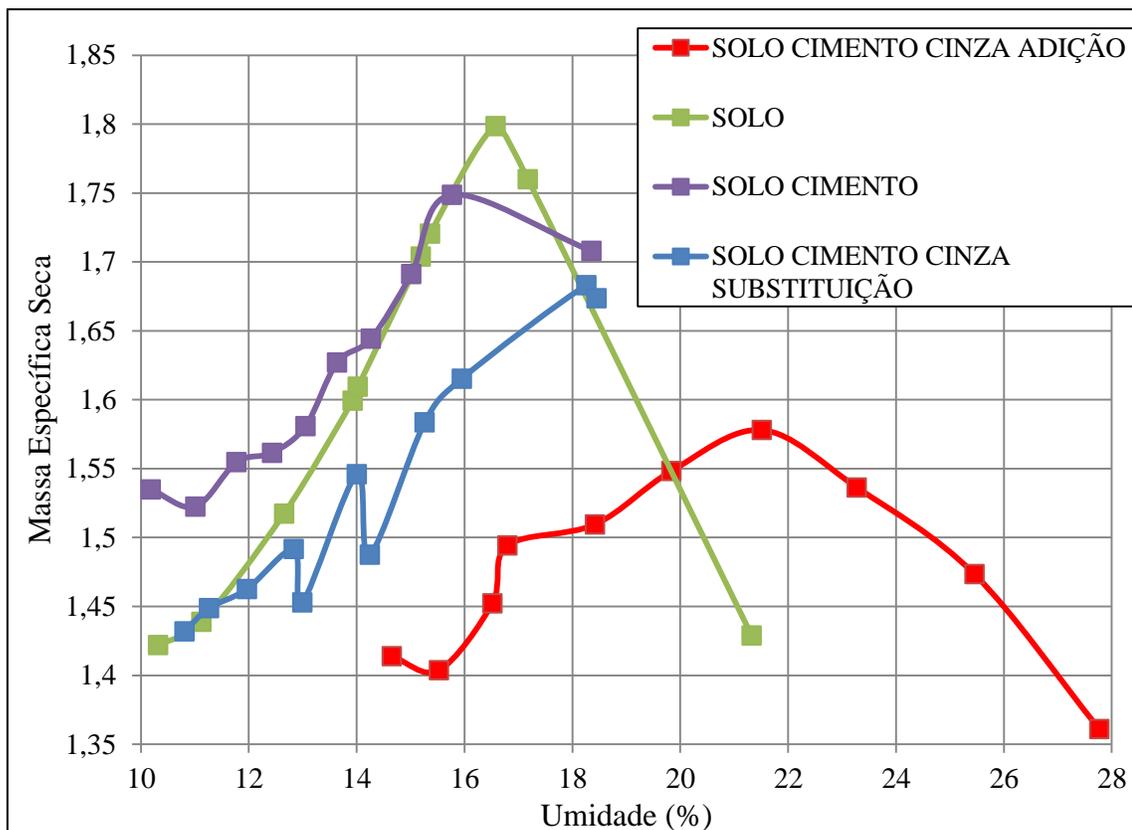
<b>Material</b>	<b>Solo-cimento</b>	<b>Solo-cimento adição</b>	<b>Solo-cimento substituição</b>
Solo	100%	100%	100%
Cimento	10%	10%	5,56%
Cinza	0%	8%	4,44%

Fonte: Próprio autor (2016)

#### **4.2 Ensaio de Compactação Mini Proctor**

Os ensaios de compactação Mini Proctor foram fundamentais na determinação do teor ideal de umidade ótima de cada mistura. Na Figura 18 estão apresentados os resultados deste ensaio para cada mistura já descrita.

Figura 18 – Ensaios de Mini Proctor para as misturas



Fonte: Próprio autor (2016)

Analisando as curvas da Figura 18, pode-se concluir que os teores de umidade ótimos de cada mistura foram de:

- teor de 16,58% de água para solo natural;
- teor de 15,77% de água para a mistura de solo-cimento;
- teor de 18,26% de água para a mistura de solo-cimento e substituição de cinza;
- teor de 21,51% de água para a mistura de solo-cimento e adição de cinza.

É importante ressaltar que o solo natural já apresenta certo percentual de umidade e que para toda a mistura utilizada verificou-se a umidade higroscópica. Sendo assim, os teores de umidade ótima, obtidos pelas curvas dos ensaios de Mini Proctor, ainda devem ter o percentual de umidade higroscópica descontado no momento de preparo de cada mistura para a posterior moldagem dos tijolos.

### 4.3 Ensaio de Absorção de Água

Conforme recomendação da ABNT NBR 8492/2012 a média dos valores de absorção não deve ser superior a 20% e não deve apresentar valores individuais superiores a 22%.

Os valores de absorção em percentual de cada amostra foram obtidos conforme abordado na seção 3.2.3.2. Desta forma, os resultados para cada mistura avaliada estão organizados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Ensaio de absorção dos CP's de solo-cimento

<b>Parâmetro</b>	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>
Peso Seco (g)	1.263,26	1.352,85	1.303,14
Peso úmido (g)	1.504,58	1.579,82	1.537,82
Absorção (g)	241,32	226,97	234,68
Absorção (%)	19,10	16,77	18,1
<b>Absorção Média (%)</b>		17,96	

Fonte: Próprio autor (2016)

Tabela 4 – Ensaio de absorção dos CP's de solo-cimento com adição de cinza

<b>Parâmetro</b>	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>
Peso Seco (g)	1.179,19	1.151,49	1.158,49
Peso úmido (g)	1.401,96	1.400,89	1.374,98
Absorção (g)	222,77	249,4	216,49
Absorção (%)	18,89	21,65	18,68
<b>Absorção Média (%)</b>		19,75	

Fonte: Próprio autor (2016)

Tabela 5 – Ensaio de absorção dos CP's de solo-cimento com substituição de cinza

<b>Parâmetro</b>	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>
Peso Seco (g)	1238,83	1129,35	1171,52
Peso úmido (g)	1421,9	1326,02	1343,08
Absorção (g)	183,07	196,67	171,56
Absorção (%)	14,77	17,41	14,64
<b>Absorção Média (%)</b>		15,61	

Fonte: Próprio autor (2016)

Ao analisar a Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5 fica evidente que as três misturas atenderam os critérios determinados por norma, resultando em uma absorção média de 17,96 % para a mistura de solo-cimento, 19,75 % para a mistura de solo-cimento com adição de cinza e 15,61 % para a mistura de solo-cimento com substituição de cinza. As absorções individuais apresentaram valor máximo de 21,65 %, para a amostra 2 da mistura de solo-cimento com adição de cinza, o que também atende ao especificado em norma. Para o solo natural não foi possível essa verificação visto que os tijolos não possuíam resistência para permanecer submersos devido a ausência de qualquer tipo de aglomerante.

#### **4.4 Ensaio de Resistência à Compressão Simples**

No ensaio de resistência à compressão simples (RCS), a amostra ensaiada, de acordo com a ABNT NBR 8492/2012, não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias.

Os primeiros CP's foram ensaiados aos 7 dias de idade, considerando as três misturas descritas anteriormente, apresentando os valores de resistência à compressão mostrados na

Tabela 6. Para os tijolos de solo natural não foi possível realizar o ensaio, pois os mesmos ao serem submetidos ao processo de serragem se rompiam em diversos pedaços.

Tabela 6 – RCS dos CP's aos 7 dias de idade

<b>Valores do RCS (MPa)</b>			
<b>Corpo de Prova</b>	<b>CP's SC</b>	<b>CP's SCCA</b>	<b>CP's SCCS</b>
1	1,03	0,44	1,1
2	1,14	0,63	0,97
3	1,33	0,47	1,13
4	1,87	0,48	0,93
5	1,41	0,43	0,81
6	1,15	0,37	0,84
7	1,55	0,40	0,75
<b>Média</b>	1,25	0,46	0,93

Fonte: Próprio autor (2016)

Em seguida, foram ensaiados CP's aos 28 dias de idade, considerando as três misturas descritas anteriormente, resultando nos valores de resistência à compressão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – RCS dos CP's aos 28 dias de idade

<b>Valores do RCS (MPa)</b>			
<b>Corpo de Prova</b>	<b>CP's SC</b>	<b>CP's SCCA</b>	<b>CP's SCCS</b>
1	0,96	0,33	0,22
2	1,31	0,35	0,17
3	1,71	0,56	0,33
4	0,99	0,41	0,3
5	1,8	0,35	0,17
6	1,22	0,44	0,15
7	1,56	0,65	0,23
<b>Média</b>	1,36	0,44	0,22

Fonte: Próprio autor (2016)

Através dos resultados apresentados pela Tabela 6 e Tabela 7, é possível observar que nenhuma das misturas apresentou os valores de resistência à compressão exigidos pela ABNT NBR 8492/2012, tanto para idade de 7, quanto para 28 dias.

Para a mistura de solo cimento a resistência média aumentou de 1,25 para 1,36 MPa, já para a mistura de solo cimento cinza adição houve uma pequena redução de 0,46 para 0,44 MPa, o mesmo ocorreu com a mistura solo cimento cinza substituição onde reduziu de 0,93 para 0,22 MPa. Ressaltando, que para o solo natural não foram realizados ensaios pelo fato do mesmo se romper já no momento da serragem para o capeamento.

Para a mistura de solo cimento é importante salientar que houve uma variação individual muito grande para cada CP, onde, em alguns casos chegaram a atingir a resistência mínima exigida por norma de 1,7 MPa nas duas idades, enquanto para as demais misturas os resultados estiveram longe do mínimo esperado.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio das moldagens dos tijolos de solo cimento pôde-se observar que as resistências mínimas exigidas por norma não foram atendidas e que alguns fatores podem ter contribuído. Um desses fatores pode ser a cinza de casca de arroz, a qual é queimada em um forno a temperaturas elevadas e sem controle, pois estudos afirmam que o controle de temperatura é de suma importância no que diz respeito às cinzas de casca de arroz. A CCA coletada apresentou uma cor escura, o que indica baixa atividade pozolânica, ou seja, baixa capacidade de interagir com o cimento formando material aglomerante. Enquanto isso poderia ser utilizada apenas como efeito de preenchimento de vazios sem que afetasse na resistência final da mistura, o que pode não ter ocorrido.

O cimento pode ser também um desses fatores, pois não se sabe exatamente a influência do CP IV na resistência dos tijolos quando acrescidos desse tipo de CCA. Sabe-se apenas que este tipo de cimento começa a ter sua resistência elevada apenas aos 28 dias de idade. É importante salientar que este tipo de cimento foi utilizado por ser o de mais fácil acesso na região da cidade de Alegrete.

Outro fator que pode ter influenciado foi o método de ensaio utilizado para se obter a umidade ótima necessária para o solo, visto que, na maioria dos casos esta umidade é estipulada através de ensaio tátil visual e na literatura não existem ensaios específicos que definem um método adequado. Optou-se pelo Mini Proctor com energia normal a fim de se obter algum parâmetro para definir o teor necessário de água requerida para cada mistura, entretanto, não se sabe precisamente o quanto isto pode influenciar na resistência final do tijolo, considerando que o teor de umidade é essencial quando se trata de solo cimento.

A moldagem pode ser outro fator relevante, pois os tijolos foram moldados em ambiente sem controle de umidade e temperatura, em local aberto, assim, a umidade externa pode ter afetado diretamente na umidade final das misturas.

Após a compactação, o processo de cura foi um fator que dificultou bastante na aquisição de valores mais próximos do esperado, pois as amostras não se mantiveram com a umidade ótima constante pelo fato de não terem sido curadas em câmara úmida nos primeiros 7 dias, e sim,

terem sofrido molhagens em horários não controlados, as quais deveriam ter ocorrido a cada 4 horas. Devido a problemas referentes à utilização dos laboratórios do campus durante finais de semana, os tijolos não foram devidamente molhados nos dois primeiros dias, o que tornou a cura imprecisa, deixando assim uma dúvida no que diz respeito à cura dos CP's. Sendo assim, este item pode ser o que mais impacta nas resistências obtidas pelo fato de ser um dos mais relevantes na confecção de tijolos de solo cimento.

Os tijolos foram transportados antes de 7 dias para capeamento e submetidos ao processo de serragem aos 5 dias com uma serra circular a qual possui uma vibração muito grande, o que pode ter vindo a causar micro fissuras nos tijolos. É importante salientar que a norma estipula que não sejam movidos antes dos 7 dias, mas para rompimento precisam sofrer capeamento pelo menos aos 5 dias para que a argamassa sofra o processo de endurecimento e os mesmo possam ser submersos em água ou deixados em câmara úmida por pelo menos 6 horas antes do seu rompimento.

E por último, uma imprecisão na carga aplicada pela prensa na hora do ensaio à compressão simples, pois a ABNT NBR 8492/2012 recomenda que a carga uniforme aplicada aos corpos de prova, no momento do ensaio de compressão simples, tenha variação de 500 N/s. Neste caso, a prensa adotada apresenta tal valor em 1200 N/s, o que pode representar uma carga excessiva para a geometria e característica dos tijolos de solo-cimento.

Como trabalhos futuros sugerem-se:

- realizar novas misturas com método diferente de determinação de umidade ótima, podendo ser verificada uma energia diferente no ensaio de Mini Proctor;
- verificar o comportamento das amostras, quanto à sua absorção e resistência à compressão simples quando curadas em câmara úmida;
- avaliar um teor mais elevado de cimento para as diferentes misturas;
- verificar diferentes tipos de cimento;
- realizar o referente estudo com diferentes tipos de solos;
- realizar o referente estudo com diferentes tipos de cinza.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, F. H.; ADNAN, A.; CHOY, C. K. **Geotechnical Properties of a Chemically Stabilized Soil from Malaysia Witch Rice Husk Ash as an Additive**. Geotechnical and Geological Engineering. 10 v, n. 2, p. 117 – 134, Amsterdam, 1992.

ARAÚJO, C. R. L. de; MARQUES, D. C. **Manual de Normalização de Trabalhos Acadêmicos**: Conforme Normas da ABNT. 4. ed. Bagé: UNIPAMPA, 2016. Disponível em: < <http://porteiros.r.unipampa.edu.br/portais/sisbi/files/2010/04/Manual-de-Normaliza%C3%A7%C3%A3o-2016.pdf> >. Acesso em: 15 jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais**. São Paulo: ABCP, Boletim Técnico BT-111, 1985. p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo: ABCP, 1999, ET-35. p. 51.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento na habitação popular**. São Paulo: ABCP, 1985. p. 14.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 8491:** Tijolo de solo-cimento — Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 8492:** Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

BARBOSA, N. P. S; GHAVAMI. K. Terra Crua para Edificações. In: **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010, 2. ed. 2 v. Cap. 25. p. 1565 – 1598.

BUI, D. D., HU, J., STROEVEN, P. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. In: **Cement e Concrete Composites**. United Kingdom, 2005, 27 v. p. 357 – 366

CAPUTO, H.P. **Notas sobre mecânicas dos meios contínuos**. Rio de Janeiro: LTC, 1983.

CARVALHO, A. R. O.; POROCA, J. S. **Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado**. Brasília: IBICT, 1995. p. 38.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFAB, 2001.

CERATTI, J. A. P. **Estudo do Comportamento a Fadiga de Solos Estabilizados com Cimento para Utilização em Pavimentos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 1991. Tese de Doutorado.

CHADDA, L. R. A rapid method of assessing the cement requirement for the stabilization of soils. In: **Indian Concrete Journal**. Índia, 1971.

CHANDRASEKHAR, S.; SATYANARAYANA, K. G.; PRAMADA, P. N. Processing properties and applications of reactive silica from rice husk – an overview. In: **Journal of Materials Science**. 38 v. p. 3159 – 3168, 2003.

CONSTRUVAN. **Tijolos Ecológicos**. Disponível em: <<http://www.construvan.com.br>>. Acesso: 10 de Setembro, 2016.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2006. Tese de Doutorado.

CROFT, J. B. **The influence of soil mineralogical composition on cement stabilization**. Geotéchnique, London, 1967. p. 119 – 35.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. p. 560.

ECO CONSTRUTORA FAVARETTTO. **Vantagens do Uso do Tijolos Ecológicos**. Disponível em: <<http://www.ecoconstrutorafavaretto.com.br/vantagens/vantagens-do-tijolo-ecologico#>>. Acesso em: 10 de Setembro, 2016.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. da S. Engenharia sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento. In: **5 ° Encontro de Energia no Meio Rural**. Campinas, 2004.

GRANDE, M. F. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2003. Dissertação de mestrado.

GUEDERT, L. O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza da casca de arroz como material pozolânico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1989.

INGLES, O. G; METCALF, J. B. **Soil stabilization principles and practice**. New York, E.U.A, Swikey e Sans, 1972. p. 374.

KLAMT, R. A. **Utilização da cal e da cinza da casca de arroz no melhoramento das propriedades geotécnicas de solos**. Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil. Alegrete, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campo dos Goytacazes**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Mestrado.

MACÊDO, M. M. de. **Solos modificados com cimento – Efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos.** Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil. Recife, 2004. Dissertação de Mestrado.

MARCONDES, M.da G. Contribuição ao estudo do método físico-químico de dosagem do solo-cimento. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 1992. Dissertação de Mestrado.

MARQUES, G. L. de O. **O Pavimento Rodoviário.** Juiz de Fora, 2003. Disponível em: <<http://www.pavimentação.ufjf.br>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2016.

MEHTA, P. K. Rice Husk Ash: A unique supplementary cementing material. In: **Advances in Concrete Technology.** Ottawa, 1992. p. 407 - 431.

MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica.** Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2008. Tese de Doutorado.

MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D. F.; SOUSA, A. A. P.; LARNJEIRA, E.; MONTEIRO, M. R. S.. Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. In: **2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólido.** João Pessoa, 2010.

NAIR, D. G.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A. A. K.; KENTGENS, A. P. M. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. In: **Cement and Concrete Research**. Elmsford, 2008. 38 v. p. 861 – 869.

OLIVEIRA, J. R.; AMARAL, A. G.; SCHNEIDER, R. M. **Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento**. Nativa, Sinop, 2014. 02 v. n. 01. p. 53 – 57.

PRIETTO, P. D. M.; SCHNAI, F.; CONSOLI, N. C. Aspectos do comportamento mecânico de um solo artificialmente cimentado. São Paulo: ABMS/AABGE, 20 v. n. 3, 1997.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. In: **SINERGIA**. São Paulo, 2005. 6 v. n. 1. p. 53 – 59.

PITTA, M. R. Estabilização com solo-cimento. **Revista Techne**, São Paulo, Editora Pini, nº 17, 1995.

RODRIGUES, R. E. **Caracterização e estabilização de um solo na cidade de Alegrete/rs com cimento Portland e cinza de casca de arroz**. Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil. Alegrete, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

SALA, L. G. **Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia Civil, Ijuí, 2006. Trabalho de Conclusão de Curso.

SOUZA, J. de. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz.** Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia, Campina Grande, 2003. Dissertação de Doutorado.

SOUZA, I. B. M.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, A. J. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, 12 v, n. 2, p. 205 – 212, 2008.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Universidade Estadual de São Paulo, UNESP, Ilha Solteira, 2006. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, W. da R. da. **Estudo da cinza da casca de arroz como adição ativa no cimento.** Universidade Estadual de Santa Catarina, Curso de Engenharia Civil, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

SEGANTINI, A. A. da S.; CARVALHO, D. de. Aplicação de solo-cimento em elementos de fundação. In: **4º seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia.** Ilha Solteira, São Paulo, 2000. p. 339 – 348.

SILVA, F. S. da. **Incentivo ao uso de produtos de baixo impacto ambiental através da disciplina de materiais de construção civil.** Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio, Engenharia Civil, Salto, 2009.

TAVEIRA, E. S. N. O solo-cimento no campo e na cidade: construir morar e habitar. In: **Simpósio Internacional sobre Produção e Transferência de Tecnologia em Habitação da Pesquisa à Prática.** São Paulo, 1987. Ícone Editora. p. 120.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** Universidade de São Paulo, Departamento de Escola de Engenharia, São Carlos, 2007. Dissertação de Mestrado.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. p. 509.

WEBER, L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz.** Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Civil, Florianópolis, 2001.