

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**JOÃO BATISTA CARDOSO DE OLIVEIRA  
MAYKON CALLONY DA SILVA MIRANDA**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE  
TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA**

**CARATINGA  
2019**

**JOÃO BATISTA CARDOSO DE OLIVEIRA  
MAYKON CALLONY DA SILVA MIRANDA**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE  
TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades DOCTUM de Caratinga como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais e componentes de construção.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Esp. Camila Alves da Silva.

**CARATINGA**

**2019**

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA, elaborado pelo(s) aluno(s) JOÃO BATISTA CARDOSO DE OLIVEIRA e MAYKON CALLONY DA SILVA MIRANDA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Caratinga 03/12/2019



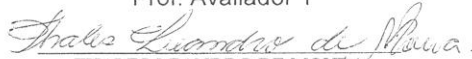
CÂMILA ALVES DA SILVA

Prof. Orientador



VITÓRIA IRMA GONÇALVES LOPES DE F. FREITAS

Prof. Avaliador 1



THALES LEANDRO DE MOURA

Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTOS**

Enfim acabou, esta jornada não foi fácil, mas em tudo, primeiramente agradecemos a Deus por ter permitido nossa chegada até aqui, por ter nos dado força nos momentos mais difíceis dessa trajetória e em tudo ter nos guiado permitindo que nos alcançássemos mais esta vitória.

Agradecemos aos nossos pais e familiares por todo o apoio fornecido durante esses longos anos desta caminhada, por terem se sujeitados à nossa ausência, e sempre estarem ao nosso lado quando as dificuldades surgiram.

Somos agradecidos a nossa orientadora Camila Alves, que teve paciência em nos orientar, dando-nos um segmento para chegarmos com a nossa pesquisa até aqui. Agradecemos também aos professores que contribuíram com nosso conhecimento técnico e profissional.

Por fim agradecemos um ao outro pelo esforço e dedicação perante a realização deste trabalho e por tudo que passamos foi possível perceber que com determinação e força de vontade podemos vencer.

## ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*

ABM – Associação Brasileira de Metalurgia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNH – Banco Nacional de Habitação

BOF – *Basic Oxygen Furnace*

$C_c$  – Coeficiente de curvatura do solo

CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento *Portland*

$C_u$  – Coeficiente de uniformidade do solo

$D_{10}$  – Diâmetro efetivo do solo

$D_{30}$  – Diâmetro abaixo da qual se situam 30% da massa de solo

$D_{60}$  – Diâmetro abaixo da qual se situam 60% da massa de solo

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FEA – Forno Elétrico a Arco

IAB – Instituto Aço Brasil

IBS – Instituto Brasileiro de Siderúrgica

IEP – Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista

IP – Índice de Plasticidade

IPT – Instituto de Pesquisas de São Paulo

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MSC – Mistura Solo-Cimento

MSeC – Mistura de Solo com substituição parcial por escória e cimento

MS<sub>10</sub>eC – Mistura de Solo com substituição de 10% por escória e cimento

MS<sub>20</sub>eC – Mistura de Solo com substituição de 20% por escória e cimento

MS<sub>30</sub>eC – Mistura de Solo com substituição de 30% por escória e cimento

MPa – Mega Pascal

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

TRB – *Transportation Research Board*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de tijolos de solo-cimento.....	23
Figura 2.2 – Composição do tijolo solo-cimento.....	25
Figura 2.3 – Esquema do processo de produção de aço em conversor a oxigênio tipo LD ou BOF.....	34
Figura 3.1 – Local de coleta das escórias de aciaria.....	41
Figura 3.2 – Pesagem da amostra de solo.....	42
Figura 3.3 – Peneiramento da amostra de solo.....	42
Figura 3.4 – Distribuição Granulométrica.....	43
Figura 3.5 – Pesagem da amostra.....	43
Figura 3.6 – Processo para definição da porcentagem de areia.....	44
Figura 3.7 – Análise da granulometria da escória.....	46
Figura 3.8 – Distribuição granulométrica da escória.....	47
Figura 3.9 – Preparo da Mistura.....	48
Figura 3.10 – Moldagem e prensa dos tijolos.....	48
Figura 3.11 – Rompimento do corpo de prova.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Critérios para a seleção do solo.....	26
Tabela 2.2 – Limite das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	26
Tabela 2.3 – Resultados do estudo de Alcantra.....	30
Tabela 2.4 – Análise dos resultados de absorção e densidade.....	36
Tabela 3.1 – Caracterização do cimento CP II E 32.....	40
Tabela 3.2 – Análise preliminar dos traços.....	47
Tabela 3.3 – Produção dos tijolos com traço predefinido.....	49
Tabela 4.1 – Classificação da relação Argila-Silte/Areia no solo.....	55
Tabela 4.2 – Análise granulométrica do solo.....	56
Tabela 4.3 – Determinação do limite de liquidez.....	59
Tabela 4.4 – Determinação do limite de plasticidade.....	60
Tabela 4.5 – Índices físicos do solo.....	61
Tabela 4.6 – Distribuição granulométrica da escória de aciaria.....	61
Tabela 4.7 – Determinação do traço da mistura solo-cimento (MSC) .....	63
Tabela 4.8 – Resultados de resistência do estudo piloto.....	64
Tabela 4.9 – Resultados de absorção de água do estudo piloto.....	65
Tabela 4.10 – Resistência à compressão para o ensaio de confiabilidade.....	67
Tabela 4.11 – Absorção de água para o ensaio de confiabilidade.....	68

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Curva granulométrica do solo.....	57
Gráfico 4.2 – Gráfico para determinação do limite de liquidez.....	59
Gráfico 4.3 – Curva granulométrica da escória.....	62
Gráfico 4.4 – Comparativo dos resultados de resistência à compressão.....	66
Gráfico 4.5 – Comparativo dos resultados de absorção de água.....	66
Gráfico 4.6 – Resistência à compressão do estudo principal.....	68
Gráfico 4.7 – Absorção de água do estudo principal.....	69



## RESUMO

Durante o processo de implantação de novos empreendimentos a construção civil proporciona intensos impactos ao meio ambiente, devido ao elevado consumo de matérias primas e a grande quantidade de resíduos gerados pelos processos construtivos. Em decorrência desta adversidade surge a necessidade de buscar novos materiais com caráter cada vez mais sustentáveis, tais como os tijolos ecológicos em substituição aos tijolos cerâmicos tradicionais e a reciclagem de resíduos. Desta forma, o estudo objetivou-se estudar os efeitos proporcionados pela substituição parcial do solo por escória de aciaria na resistência à compressão e absorção de água dos tijolos solo-cimento. Por metodologia adotou-se o estudo experimental. Utilizou-se as diretrizes da norma ABNT NBR 8492:1984 para produzir os tijolos com incremento de diferentes porcentagens de escória e posteriormente realizou-se os ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Tendo observado como resultados que para o solo utilizado na produção dos tijolos o traço que apresentou melhor desempenho caracterizou-se como sendo o traço com relação solo-cimento equivalente a 1:7, uma vez que neste foi adicionado o teor de escória igual a 20%, sendo determinado como resultado de sua resistência à compressão correspondente a 3,75 MPa e teor de absorção de água equivalente a 17,24%. Assim conclui-se que a escória não comprometeu o desempenho dos tijolos do ponto de vista da resistência e da absorção de água, uma vez que os resultados estão dentro dos limites normativos. Assim, acredita-se que a escória se apresenta como uma alternativa favorável para ser inserida como agregado na produção de tijolos ecológicos.

**Palavras-chave:** Materiais sustentáveis. Tijolo ecológico. Escória de aciaria. Resistência à compressão. Absorção de água.

## ABSTRACT

During the process of implementation of new projects, construction provides intense impacts to the environment, due to the high consumption of raw materials and the large amount of waste generated by the construction processes. As a result of this adversity, there is a need to look for new and increasingly sustainable materials, such as ecological bricks to replace traditional ceramic bricks and waste recycling. Thus, the study aimed to study the effects provided by the partial replacement of soil by steel slag on the compressive strength and water absorption of soil-cement bricks. By methodology the experimental study was adopted. The ABNT NBR 8492: 1984 guidelines were used to produce bricks with increment of different slag percentages and afterwards the tests of compressive strength and water absorption were performed. Having observed as results that for the soil used in the production of bricks the trait that presented the best performance was characterized as the trait with soil-cement ratio equivalent to 1: 7, since in this was added the slag content equal to 20. %, being determined as a result of its compressive strength corresponding to 3.75 MPa and water absorption content equivalent to 17.24%. Thus, it is concluded that the slag did not compromise the performance of bricks from the point of view of resistance and water absorption, since the results are within the normative limits. Thus, it is believed that the slag presents itself as a favorable alternative to be inserted as an aggregate in the production of ecological bricks.

**Keywords:** Sustainable materials. Ecological brick. Steel slag. Compressive strength. Water absorption.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Contextualização</b> .....	12
<b>1.2 Objetivos</b> .....	14
1.2.1 Objetivo geral .....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
<b>1.3 Justificativa</b> .....	15
<b>1.4 Estrutura do trabalho</b> .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>2.1 Sustentabilidade na construção civil</b> .....	17
<b>2.2 Tijolos de solo-cimento (Tijolo ecológico)</b> .....	21
2.2.1 Características e especificações técnicas dos tijolos de solo-cimento .....	23
2.2.2 Materiais constituintes e especificações.....	24
2.2.2.1 <i>Solo</i> .....	25
2.2.2.2 <i>Cimento</i> .....	28
2.2.2.3 <i>Água</i> .....	28
<b>2.3 Uso de resíduos na produção de tijolos de solo-cimento</b> .....	29
<b>2.4 Escória de aciaria</b> .....	32
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	37
<b>3.1 Classificação da pesquisa</b> .....	37
<b>3.2 Procedimentos metodológicos e técnicos</b> .....	38
3.2.1 Revisão bibliográfica .....	38
3.2.2 Programa experimental .....	39
3.2.2.1 <i>Coleta dos materiais para produção dos tijolos-ecológicos</i> .....	39
3.2.2.2 <i>Ensaio de caracterização do solo</i> .....	41

3.2.2.3 <i>Caracterização da escória de aciaria</i> .....	46
3.2.3 Ensaio piloto.....	47
3.2.4 Ensaios de resistência à compressão e absorção de água.....	49
<b>3.3 Determinação do tamanho da amostra de tijolos de solo-cimento</b> .....	<b>51</b>
<b>3.4 Procedimento de análise dos resultados</b> .....	<b>52</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>54</b>
<b>4.1 Caracterização dos materiais</b> .....	<b>54</b>
4.1.1 Características do solo.....	54
4.1.1.1 <i>Equivalente de areia por lavagem</i> .....	54
4.1.1.2 <i>Resultados da análise granulométrica por peneiramento</i> .....	55
4.1.1.3 <i>Resultados dos índices de consistência (limites de Atterberg)</i> .....	58
4.1.2 Caracterização da escória.....	61
<b>4.2 Determinação do traço</b> .....	<b>63</b>
<b>4.3 Estudo piloto</b> .....	<b>64</b>
<b>4.4 Estudo principal</b> .....	<b>67</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O setor da construção civil é um importante setor para o desenvolvimento socioeconômico das sociedades, isto se verifica particularmente pela proporção dos valores envolvidos durante a prática das atividades compreendidas nos processos construtivos, assim como por sua interdependência de outros segmentos da economia, resultando em um efeito multiplicador de renda (TEIXEIRA, 2009).

A construção civil durante o processo de implantação de novos empreendimentos ocasiona grandes impactos ao meio ambiente, devido ao elevado consumo de recursos naturais, o que desencadeia uma exploração desenfreada. Em decorrência dessa adversidade surge a necessidade de buscar novos materiais e novas técnicas construtivas, onde se tenha um uso consciente dos recursos naturais e que busque uma redução do impacto causado pelas novas edificações.

No momento atual em que se encontra a construção civil constata-se vários debates e estudos abordando o desenvolvimento de construções sustentáveis. No entanto não é isto que ocorre na prática, onde verifica-se que esses novos métodos construtivos são pouco desenvolvidos e pouco aplicados, quando comparados com os métodos construtivos tradicionais (BRAGA et al., 2005).

A procura por novas técnicas construtivas e novos materiais que se diferenciam dos métodos convencionais por apresentarem menor degradação do meio ambiente tem se tornado uma preocupação constante, fazendo com que cresça o desenvolvimento destas novas técnicas. Priorizando métodos que produzam menos desperdícios e fazendo-se uso de materiais reutilizados o que conferem caráter sustentável as novas edificações. Isto levando-se em consideração os parâmetros de qualidade necessários para o desenvolvimento de uma boa construção, aliado ao fator econômico envolvido no processo (PAIVA, 2005).

A construção civil como uma atividade sustentável consiste na redução dos impactos ambientais inferidos ao meio ambiente, aliado a ganhos sociais e econômicos. É neste contexto que se compreende a utilização do tijolo de solo cimento, mais conhecido como tijolo ecológico, o qual se destaca como sendo o processo construtivo que apresenta grande avanço sustentável, devido a seus métodos naturais de fabricação (MOTTA et al, 2014).

O tijolo de solo-cimento caracteriza-se como sendo uma das melhores técnicas construtivas e uma das melhores alternativa para minimizar os impactos ambientais provenientes da construção civil. É um produto economicamente viável, onde suas vantagens vão desde o processo de fabricação o qual necessita de equipamentos de pequeno porte e de baixo custo, passando pelo processo de execução a qual não necessita de mão de obra previamente qualificada e com experiência, até a fase final da obra, uma vez que o processo de revestimento e acabamento é simplificado para este método construtivo (FERREIRA, 2003).

O emprego da reutilização de materiais para a produção do tijolo ecológico confere a este um ganho significativo em relação a sustentabilidade, uma vez que se faz o emprego de um material que seria descartado de forma inapropriada na natureza.

Com o intuito de produzir produtos cada vez mais sustentáveis é de vital importância a utilização de novas tecnologias para a fabricação do tijolo de solo-cimento, visando os bons resultados obtidos por meio da implantação destes novos métodos, buscando a inserção de novos materiais, que confirmam ao tijolo de solo cimento um caráter cada vez mais sustentável.

Seguindo este caminho surge a proposta de fazer uso de um coproduto do processo de fabricação do aço, a escória de aciaria como aditivo para a produção do tijolo de solo-cimento, tendo como objetivo melhorar suas características de resistência à compressão e absorção de água.

Em nosso país a indústria siderúrgica possui grande potencial a ser desenvolvido. A produção de aço tem crescimento constante, este aumento na produção auxilia no desenvolvimento da sociedade, movimentando a economia e contribuindo com o processo de geração de empregos.

O aumento na fabricação de aço resultou em uma expansão da produção de escória de aciaria, originando nas indústrias siderúrgicas um problema relacionado ao descarte deste produto, o que na maioria das vezes acontece na própria natureza, sem que sejam tomadas as precauções necessárias para minimizar os impactos que este descarte proporciona a este meio.

Surge a partir desta problemática a necessidade e a importância de um estudo que se proponha a analisar a utilização da escória de aciaria como agregado para a produção do tijolo de solo-cimento, avaliando os resultados decorrentes desta aplicação nas propriedades mecânicas do tijolo de solo-cimento.

Portanto este estudo se dedica a determinar se a fabricação de tijolos de solo-cimento produzido com a substituição parcial de seus agregados por escória de aciaria apresenta resistência à compressão e absorção de água de acordo com a norma ABNT NBR 8491:1984.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo geral

Estudar os efeitos proporcionados pela substituição parcial de 10%, 20% e 30% do solo por escória de aciaria como agregado na mistura solo-cimento utilizada para a fabricação dos tijolos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para que se alcançasse o objetivo principal proposto por esta pesquisa, delimitou-se os seguintes objetivos específicos listados a seguir:

- Caracterizar os materiais utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento.
- Definir a melhor relação solo-cimento para o solo utilizado na produção dos tijolos, por meio da execução de traços distintos, alternando a relação entre solo e cimento para os traços.
- Produzir tijolos de solo-cimento com diferentes proporções de substituição de solo por escória de aciaria na composição da mistura.
- Realizar os ensaios de resistência à compressão e absorção de água.
- Comparar os valores de resistência à compressão e absorção de água médios e individuais com os valores normatizados pela norma ABNT NBR 8491:1984.

### 1.3 Justificativa

Existe uma grande produção de escória de aciaria a qual não tem destino apropriado, sendo em muitos casos descartada no próprio meio ambiente sem que nenhuma providência seja tomada com relação aos impactos que este produto possa vir a oferecer ao meio.

Portanto, investigar sua utilização como agregado para a produção do tijolo ecológico oferece um potencial ganho para o meio ambiente, uma vez que, provando-se viável, existirá a alternativa de um destino sustentável para este rejeito industrial.

Por meio do desenvolvimento deste trabalho utilizando a escória de aciaria como material para a produção de tijolos de solo-cimento, tem-se a possibilidade de se realizar o aprimoramento de um material de grande importância para o desenvolvimento sustentável da construção civil.

No âmbito científico e técnico, tem-se a contribuição como um agente produtor de conhecimento técnico sobre a produção de tijolos com escória de aciaria, um material alternativo, mostrando a relevância deste material para a construção civil, deste modo incentivando a pesquisa sobre as possibilidades de novas aplicações da escória como material para as mais diversas obras da engenharia.

Além disso, a pesquisa retoma e amplia as discussões sobre a utilização de alternativas sustentáveis para a construção de modo geral, contribuindo com a divulgação de conhecimento relacionados aos tijolos de solo-cimento e a utilização da escória de aciaria como material alternativo, impulsionando os estudos relacionados a estes temas.

Com a utilização da escória de aciaria para a produção do tijolo ecológico toda a cadeia da construção civil pode ser beneficiada, com ênfase para pequenas construções voltadas para classes mais baixas da população, uma vez que este tipo de tijolo apresenta custos menores, quando comparado com os tijolos cerâmicos convencionais.

Outra indústria a ser beneficiada consiste na indústria metalúrgica, já que se aplica um destino a um de seus coprodutos, possibilitando mais flexibilidade no momento de descarte deste material. E por fim, esta aplicação da escória traz benefícios para as empresas de produção do tijolo ecológico apontando um material alternativo que reduz o uso da matéria prima natural, evitando sua extração.



## 1.4 Estrutura do trabalho

Considerando que a escrita desse trabalho e sua estrutura como um todo é apresentada com um propósito de estimular o entendimento e uma boa compreensão do tema, esta monografia é dividida e organizada em 5 capítulos com os respectivos assuntos como mostra a seguir.

Capítulo 1. Tem como objetivo apresentar de forma geral as questões a serem analisadas sobre a pesquisa realizada. Neste capítulo realizou-se a contextualização do tema, apresentou os objetivos do trabalho, além de descrever a justificativa e a relevância do assunto abordado. A estrutura da monografia também é apresentada neste capítulo.

Capítulo 2. Expõe o embasamento científico abordando os conceitos no qual o tema encontra-se inserido. Neste se apresenta a responsabilidade da construção civil em relação aos impactos ambientais, que esta atividade proporciona a este meio, além de descrever os materiais constituintes, o processo de dosagem do material e suas propriedades.

Capítulo 3. Detalha os procedimentos técnicos e metodológicos para a fabricação de tijolos ecológicos com o uso de escória de aciaria como material alternativo, expondo a execução dos ensaios realizados em laboratório para comprovar a sua qualidade e característica mecânica.

Capítulo 4. Apresenta os resultados a partir de ensaios laboratoriais seguido de uma discussão para apontar os valores obtidos, considerando nesse capítulo os dados teóricos já esclarecidos nos capítulos anteriores para que de maneira compreensível possa esclarecer o que foi proposto nesse trabalho.

Capítulo 5. Esse é o último capítulo que tem como objetivo finalizar o trabalho apresentando as conclusões e considerações finais a partir dos resultados obtidos, considerando e expondo sobre o tema desse estudo e seus objetivos para que de forma fácil possa compreender os resultados. Encerrando apresentando as limitações do estudos e apontando sugestões de pesquisa para dar segmentos complementares para este trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sustentabilidade na construção civil

Segundo Araújo (2008) uma construção sustentável é caracterizada como sendo a qual implementa alterações no meio ambiente levando-se em consideração os impactos que estas oferecem a este meio, neste modelo de construção tem-se uma consciência e um objetivo de se conservar os recursos naturais e o meio ambiente, suprimindo as necessidades das novas edificações, recorrendo-se a alternativas sustentáveis.

O setor da construção civil destaca-se como sendo uma das atividades de maior importância socioeconômica para o desenvolvimento das sociedades, sendo este campo responsável pelo processo transformador do ambiente natural, adequando-o às necessidades das mais diversas atividades (JOHN, 2000).

Segundo John (2000), por sua complexidade econômica, envolvendo vários segmentos da indústria a construção civil encarreta um grande impacto ambiental, uma vez que, esta cadeia produtiva caracteriza-se como uma das maiores da economia.

E, devido ao seu amplo espaço de atuação e ao grande volume de suas obras, a indústria da construção civil é uma das principais consumidoras de recursos naturais e energias, consumindo entorno de 20% a 50% dos recursos naturais empregados pela sociedade, conseqüentemente tal consumo faz com que esta seja uma das maiores produtoras de resíduos (JOHN, 2000).

No Brasil a construção civil é considerada como sendo um campo de grande importância para a economia nacional, uma vez que apresenta impactos diretos sobre a mesma, comprovando desta forma seu papel imprescindível para proporcionar o desenvolvimento socioeconômico de forma eficiente (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

Segundo Kureski et al. (2008) a construção civil apresenta significativo efeito de encadeamento produtivo com outros setores da economia, além de desenvolver grande função como forma de estímulo ao crescimento da produção e a criação de empregos, resultando em produtos e serviços que elevam à economia e incorporam valor adicional total nos resultados deste processo.

De acordo com John (2000), como a construção civil é de grande importância para o desenvolvimento econômico brasileiro e por acompanhar o crescimento

populacional excessivo, esta se torna responsável pela produção de grande parte dos resíduos sólidos produzidos pelos centros urbanos, onde se pode evidenciar o desmedido desperdício de materiais, a exagerada poluição gerada durante suas atividades, dentre outros problemas.

Devido ao seu crescimento exponencial e ao grande volume de recursos envolvidos na prática da construção, surge certa preocupação com relação ao meio-ambiente, já que este é imensamente explorado. Além desta exploração desenfreada outra preocupação é o grande volume de resíduos gerados durante os processos de construções e demolições. É neste contexto que surge a discussão sobre o desenvolvimento sustentável e na responsabilidade socioambiental a qual a construção civil está comprometida (MOTTA et al., 2014).

A questão do desenvolvimento sustentável apresenta grande relevância, de tal forma que neste novo milênio o tema que se encontra sempre presente nas mais diversas discussões aborda justamente a sustentabilidade, a qual está ligada as mais diversas áreas da economia e a responsabilidade socioambiental que cada segmento possui (BRAGA et al., 2005).

Como já exposto por John (2000) a indústria da construção civil é responsável pelo consumo de grande parte dos recursos naturais e energias disponíveis pela sociedade. Desta forma é imprescindível a busca por materiais e métodos com características cada vez mais sustentáveis, uma vez que os recursos naturais disponíveis no planeta são finitos, e o consumo desenfreado destes recursos tem gerado uma grande violência ao meio ambiente (PISANI, 2005). Por consequência é necessário desenvolver um modelo de construção que se adeque aos parâmetros de sustentabilidade.

Como grandes partes dos resíduos gerados pela sociedade provém da construção civil é imprescindível que engenheiros, arquitetos e os demais profissionais envolvidos no processo da construção busquem por alternativas construtivas, optem pela utilização de materiais alternativos, realizem a reciclagem de resíduos e procurem formas de minimizar o desperdício de materiais, tendo em vista construções que se apresentem cada vez mais com caráter sustentável (PAIVA, 2005).

Como aponta Motta et al. (2014), no modelo atual da construção civil encontra-se a necessidade momentânea de se implementar novas técnicas construtivas que reduzam os impactos ao meio ambiente. Além de novas técnicas construtivas outro

fator que este diretamente ligado ao conceito de construção sustentável, destaca-se o planejamento dos impactos ambientais, uma vez que com bom planejamento, a obra tende a ter melhor desempenho, o que consecutivamente resulta em melhor aproveitamento dos recursos e proporciona redução dos desperdícios que estão inerentes ao processo.

Como pode ser evidenciada Motta et all. (2014) a indústria da construção civil tem grande impacto no meio ambiente em que está inserida, no entanto como se refere a um setor imprescindível para o desenvolvimento socioeconômico, é essencial que a construção civil busque alternativas para minimizar os danos causados por esta ao meio ambiente.

Tendo em vista esta necessidade de buscar alternativas que reduzam os custos e o impacto ambiental, foi neste contexto que se desenvolveu o conceito de tijolo ecológico o qual é constituído por uma mistura homogênea de solo, água e cimento, este pode ser uma alternativa para supri essa necessidade, uma vez que não apresenta dificuldades em seu processo de fabricação, além de ser uma forma de se favorecer os custos e os prazos da construção (MOTTA et al., 2014).

Ainda de acordo com Motta et all. (2005) outro ponto que está se tronando cada vez mais analisado consiste na excessiva produção de resíduos sólidos que tem se tornado uma preocupação constante para as grandes cidades, uma vez que esta produção evolve tanto questões de âmbito financeiro e social quanto de caráter ambiental. Em decorrência da necessidade de encontrar uma solução, que minimize estes efeitos gerados pela intensa produção de resíduos, tem-se buscado alternativas para a reutilização dos mesmos (MOTTA, 2005).

Segundo John (1995) outro segmento da indústria que tem se preocupado em buscar alternativas para reutilizar e reciclar os resíduos gerados durante suas atividades, consiste na indústria siderúrgica, a qual é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos.

De acordo com Angulos et al. (2011), o processo de reciclagem de resíduos da construção pode ser compreendido como um grande benéfico socioambiental para a sociedade de forma geral.

Em nosso país uma forma de lidar com os resíduos gerados pela indústria da construção civil, encontra-se na Resolução nº 307 publicada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) no ano de 2002, a qual estabelece diretrizes para

efetivar a redução de resíduos e conseqüentemente para a redução dos impactos que estes proporcionam ao meio ambiente.

Esta Resolução do CONAMA (2002) determina que resíduos enquadrados na “Classe A”, a qual engloba os resíduos provenientes de: construções, reformas, obras de infraestrutura, demolições, componentes de cerâmicas, concreto, argamassas, fabricação e demolição de peças pré-moldadas entre outros, podem ser utilizados e reciclados para a utilização como agregados em diversos serviços e materiais, como para produção de tijolos ecológicos ou como estabilizantes granulares de pavimentação.

Brito filho (199) demonstra que os resíduos reciclados apresentam diversas aplicações no campo da construção civil, sendo possível sua utilização em numerosos serviços. Os agregados reciclados podem ser utilizados em lastros para o assentamento de tubos, camadas drenantes, sendo amplamente utilizados em estabilização de solos que apresentam baixa capacidade de suporte, entre outras utilizações (BRITO FILHO, 1999).

De acordo com Lima (2009) os resíduos reciclados determinados como agregados podem ainda ser utilizados para a produção de concreto e argamassas, adequando-se a ser utilizado para diversos fins com componentes de revestimento e blocos de alvenarias, execução de contra pisos e vários outros empregos, evidenciando desta forma os ganhos tanto financeiros como ambientais de se realizar o processo de reciclagem de resíduos dos diversos segmentos da indústria da construção civil.

Vem-se expandido e destacando-se dentre os campos de estudo para a aplicação de resíduos a área que consiste na estabilização de solos, fazendo-se o uso destes resíduos com tal finalidade, sendo assim, o solo como material de construção, destacando sua utilização para a produção de tijolos, é uma prática bastante difundida e conhecida (ABIKO, 1984).

Contudo esta técnica vem sendo aprimorada por meio dos processos de estabilização, onde se tem realizado a adição de algum material cuja finalidade consiste em proporcionar benefícios as suas características físicas como o aumento da resistência à compressão, diminuição dos percentuais de absorção de água além de estabilizar o material perante a variações das condições de umidade, desta forma evitando-se a deterioração do material e aumentando sua durabilidade (ABIKO, 1984).

Os tijolos produzidos por meio da estabilização do solo através do incremento de resíduos têm-se destacado na esfera que diz respeito a materiais sustentáveis para o uso da indústria da construção civil, contudo estes devem atender aos requisitos de resistência à compressão simples e apresentar absorção de água em conformidade com as especificações da ABNT NBR 8491:1984.

Moreira (2006) aponta em seus estudos sobre o aproveitamento da escória proveniente da indústria siderúrgica para a produção de materiais cerâmicos, que por meio do uso controlado da porcentagem de escória presente na mistura é tecnicamente viável seu uso como agregado, por meio desta premissa, tem-se a idealização de produzir tijolos de solo-cimento utilizando a escória como agregado, realizando a substituição parcial do solo por este material.

## **2.2 Tijolos de solo-cimento (Tijolo ecológico)**

A utilização do solo-cimento como material construtivo no Brasil teve sua intensificação a partir do ano de 1940, uma vez que a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) dispunha de um processo de dosagem da mistura de solo-cimento para sua utilização em obras de pavimentação, a qual baseava-se em parâmetros americanos (GRANDE, 2003).

Segundo Segantini e Alcântara (2007) a primeira utilização do tijolo de solo-cimento também denominado como tijolo ecológico, data-se do ano de 1945, onde se recorreu a este método construtivo para a execução da obra de uma casa de Bombas situada no aeroporto de Santarém/PA, a qual apresentava área de aproximadamente 42m<sup>2</sup>.

Ainda de acordo com os autores supracitados, posteriormente foram construídas residências que apresentavam paredes monolíticas executadas por meio da aplicação do solo-cimento localizadas no Vale Florido em Petrópolis no estado do Rio de Janeiro.

De acordo com Mieli (2009) em 1978 foi comprovado pelo Banco Nacional de Habitação (BNH), por meio de pesquisas realizadas pelo Instituto de Pesquisas de São Paulo (IPT) e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvidos (CEPED), que a utilização do solo-cimento apresenta bom desempenho e possibilita a redução dos custos com materiais. Após este episódio a utilização do solo-cimento construtivo tem crescido amplamente, com sua aplicação em novas técnicas construtivas, aliadas aos

avanços tecnológicos e ao desenvolvimento dos materiais e equipamentos de produção (MIELI, 2009).

Optando pela utilização do tijolo ecológico no sistema construtivo, é possível alcançar de 20% a 40% de economia em relação ao sistema convencional de alvenaria, pois esse sistema evita muito desperdício de materiais, conseqüentemente também diminui até 30% o tempo de construção, onde os encaixes favorecem o alinhamento e prumo da parede que gera um melhor resultado, e os furos dos tijolos que podem ser utilizados para instalação elétrica e hidráulica gerando praticidade nesse procedimento reduzindo a quebra da parede (FERREIRA, 2013).

Para obter um maior resultado na escolha da utilização do tijolo ecológico (vazado), o projeto dos cômodos devem ser em função do bloco, ou seja, as paredes são moldadas considerando largura altura e comprimento dos tijolos, sendo que no mercado encontra meio tijolo em relação ao seu comprimento evitando o corte e agilizando o processo, isso mostra que esse material é uma boa escolha de aquisição para empreendimentos de baixo custo como moradias populares por gerar grande economia no custo final da obra (WEBER; CAMPOS; BORGA, 2017).

A impermeabilização entre a fundação e a primeira fiada dos tijolos é importante na execução, pois pela fundação possui facilidade de penetração de umidade na parede que sendo constante essa umidade se torna prejudicial aos tijolos, por serem uma mistura de solo quando esse é saturado perde a sua resistência e ganha facilidade de desfazer a sua liga (FIAS; SOUZA, 2017).

Os tijolos ecológicos apresentam uma boa agilidade na construção, tanto para a parte elétrica e hidráulica oferece rapidez, pois toda essa infraestrutura podem ser adaptadas através dos furos dos tijolos, sendo que através desses furos já podem ser executados pilares ou pilaretes de cantos no modo em que a barra de aço que sai da fundação passa pelo furo dos tijolos até a altura limite da parede, no vazio desses furos são colocados concreto ou graute, a escolha desse material é de acordo com a necessidade do projeto e viabilização da construção (WEBER; CAMPOS; BORGA, 2017).

Para a arquitetura das construções, de acordo com estudos de Pisani (2005), os tijolos ecológicos além de apresentar um avanço na construção, confere características estéticas favoráveis à construção, uma vez que, é possível simplesmente usar o tijolo sem revestimento, aplicando neste apenas uma camada de tinta ou verniz, esteticamente gera um resultado positivo e econômico, sendo este

método recomendável para áreas internas e secas, já para áreas externas ou molhadas é recomendado que as paredes sejam revestidas, para sua proteção contra umidade.

Ainda de acordo com Pisani (2005) nos últimos anos esses tijolos tiveram preferências de uso como um designer arquitetônico para paredes de sala de jantar, salas de estar e algumas paredes de área Gourmet, por resultarem em um material de aparência rústica e agradável.

### 2.2.1 Características e especificações técnicas dos tijolos de solo-cimento

Segundo Fias e Souza (2017), o tijolo solo-cimento é um dos métodos primários das construções residenciais no Brasil, que com a evolução da construção civil perdeu o seu mercado para os populares tijolos cerâmicos e blocos. Inicialmente a produção desses tijolos consistia em apenas na fabricação do tijolo maciço, no entanto atualmente sua produção conta com diversos formatos como os tijolos perfurados, meio tijolo, tijolo canaleta entre outros, como exemplificado pela Figura 2.1. Atualmente com os problemas de aquecimento global no planeta, esses tijolos tornaram a ser procurado (FIAS; SOUZA, 2017).

Figura 2.1 – Tipos de tijolos de solo-cimento



Autor: SAHARA. Disponível em: <<https://www.sahara.com.br/images/compilado-de-artefatos-de-solocimento>>.

Ainda de acordo com Fias e Souza (2017), diferente do tijolo cerâmico o tijolo ecológico não passa pelo processo de cozimento, pois o seu processo de fabricação é somente a mistura de solo, cimento, água e aditivo (opcional) e conformado em bloco por prensa manual ou hidráulica, contando com cura hidráulica por um período de 7 dias para atingira sua resistência. Com isso a fabricação do tijolo ecológico evita



a queima da lenha e desmatamento de árvore e por consequência elimina a emissão de gases de efeito estufa oriundo da queima da lenha (FIAS; SOUZA, 2017).

Os tijolos têm suas especificações para uma boa qualidade, de acordo com a ABNT NBR 8491:2012, a qual determina que os tijolos devem ter resistência à compressão média mínima equivalente a 2 MPa, sendo que a resistência mínima aceitável para cada tijolo individualmente é de 1,7 Mpa, para se determinar esta resistência à compressão dos tijolos estes devem ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, que consistem em aplicar carregamento ao corpo de prova, por meio de uma prensa hidráulica, até que este se rompa, o valor do carregamento necessário para romper o tijolo é denominado como sua resistência à compressão.

Esta mesma norma ABNT NBR 8491:2012 descreve que em relação a absorção de água, o valor médio não pode ser superior a 20% e o valor limite individual é de 22%. O ensaio de absorção consiste em secar os tijolos em estufa por um período de 24 horas, em seguida determina-se seu peso e posteriormente deixa-se o tijolo imerso por um período de 24 horas novamente, tornando a determinar a massa do corpo de prova após com presença de umidade é possível determinar sua absorção por meio da relação entre as massas seguindo as orientações da ABNT NBR 8492:1984.

Para garantir a confiabilidade dos resultados os ensaios a ABNT NBR 8491:2012 expõe que estes podem ser feitos com dez tijolos escolhidos aleatoriamente em um lote de 1000 tijolos, isso garante ao comprador uma boa confiabilidade no uso deste material.

### 2.2.2 Materiais constituintes e especificações

De acordo com o Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista (IEP) (2016), os tijolos de solo-cimento, ou também denominados de tijolos ecológicos, são produzidos por meio do adensamento da mistura de solo-cimento em moldes que irão conferir o formato ao material.

Desta forma os tijolos de solo-cimento apresentam uma simples composição constituída basicamente de solo, cimento Portland e água, Figura 2.2, apresentando uma mistura homogênea, que ao ser compactado ou prensado, em teores adequados

de unidade adquirem resistência e durabilidade, proveniente das reações de hidratação do cimento (ABCP, 1999).

Figura 2.2 – **Composição do tijolo solo-cimento**



Fonte: Catarse (2017).

Conforme Lima (2009), é imensa a necessidade de se ter conhecimento sobre os materiais que irão compor os tijolos de solo-cimento, em especial deve-se dar maior atenção ao solo, uma vez que este é o material de maior volume a ser incorporado, e por não se apresentar como um material uniforme, podendo sofrer variações em consequência de sua localização e da profundidade onde este será coletado, é essencial que ele seja caracterizado tanto física como mecanicamente.

### 2.2.2.1 Solo

Segundo Bauer (2017), como material de construção o solo vem sendo utilizado há pelo menos dez mil anos, tendo-se registro de culturas antigas como a da Grécia e da Roma, que realizaram emprego deste material em suas obras, algumas destas resistem ao tempo, e anda hoje conservam sua qualidade estrutural e estética.

Para a produção do solo-cimento, o solo é o material de maior volume na mistura de solo-cimento, portanto suas propriedades e características são os elementos que tem maior capacidade de influenciar as características físicas dos tijolos de solo-cimento (PECORIELLO; BARROS, 2004).

Pecoriello e Barros (2004) continuam dizendo, que os solos que melhor se adequam para serem utilizados na produção dos tijolos de solo-cimento caracterizam-se sendo solos arenosos, mas que apresentem teores mínimos de materiais finos, siltes e argilas. Desta forma o solo a ser utilizados deve apresentar as especificações presentes na Tabela 2.1, exigidos pelas normas ABNT NBR 10832:1989 e ABNT NBR 10833:1989, para que este possa ser empregado na produção do solo-cimento.

Tabela 2.1 – Critérios para a seleção do solo

<b>Característica</b>	<b>Requisitos (%)</b>
% passando na peneira ABNT 4,8mm (n°4)	100
% passando na peneira ABNT 0,075 (n°200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: adaptado da ABNT NBR 10832 (1989) e ABNT NBR 10833 (1989).

Para garantir que o solo a ser utilizado na produção dos tijolos de solo cimento apresente especificações exigidas, é necessário realizar os ensaios laboratoriais de granulometria por peneiramento em conjunto com os limites de Atterberg (PECORIELLO; BARROS, 2004).

A granulometria é a distribuição das partículas inorgânicas e minerais do solo de acordo com suas dimensões, Tabela 2.2, esta característica é a primeira vista facilmente detectada uma vez que a olho nu é possível observar a diferença no tamanho das partículas que compõem um solo, como em solos pedregosos e em areias, entretanto esta distribuição vai muito além do que se é possível observar, uma vez que quando comparado com objetos do cotidiano todas as partículas do solo são consideradas como sendo pequenas, mas algumas apresentam dimensões menores que outras (PINTO, 2006).

Tabela 2.2 – Limite das frações de solo pelo tamanho dos grãos

<b>Fração</b>	<b>Limites definidos pela ABNT</b>
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8mm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2 mm a 4,8 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: Pinto, 2006.

Sendo estas partículas divididas em classes de tamanhos dentre as quais as que são de fundamental importância para a construção civil são as areias que apresenta tamanhos que variam de 0,05 a 4,8mm, o silte cujo tamanho varia de 0,005 a 0,05mm e as argilas que são as partículas minerais com tamanho inferior a 0,005mm (PINTO, 2006).

Para determinar a distribuição granulométrica dos solos por meio do processo de peneiramento, baseia-se nas orientações da ABNT NBR 7181:2016, os resultados obtidos são representados por uma curva de distribuição granulométrica, a qual

representa o tamanho dos grãos presentes nos solos e a forma como estes estão distribuídos.

Na prática da engenharia em obras que englobam atividades relacionadas ao solo, é de fundamental importância conhecer seu comportamento e suas características, no entanto apenas sua distribuição granulométrica não é suficiente para caracterizar seu comportamento, uma vez que a fração fina presente no solo influencia diretamente em seu comportamento (PINTO,2006).

Ainda segundo Pinto (2006), essa fração de finos do solo geralmente é constituída de argila, em sua maior parte, e de silte que apresentam grande superfície específica, tal característica influi diretamente em comportamento, outro aspecto que interfere em seu comportamento é o tipo de mineral-argila com o qual a fração argilosa é constituída, como o estudo desses minerais-argila é um processo complexo, na prática da engenharia substitui tal estudo por uma análise indireta, analisando o comportamento do solo que varia de acordo com seu grau de saturação.

Para tal estudo utiliza-se o ensaio e índices proposto pelo engenheiro Atterberg, adaptados pelo professor de mecânica dos solos Arthur Casagrande, tais limites baseiam-se na verificação de que com a variação de umidade ocorrem aspectos distintos para o solo, com teor de umidade elevado o solo se comporta como líquido, após perder parte de sua umidade ele se comporta como material plástico e quando seu grau de saturação diminui ainda mais ele se torna um material quebradiço (PINTO, 2006).

Segundo Pinto (2006) os limites de Atterberg são compostos pelo limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), sendo o limite de liquidez caracterizado como a umidade limite entre o comportamento fluido e o moldável, sendo este ensaio determinado experimentalmente pelo aparelho de Casa grande, onde o limite de liquidez é considerado como a umidade necessária para se unir as bordas da ranhura em 25 golpes do aparelho de Casa-grande, para realizar este ensaio segue-se as orientações da ABNT NBR 6459:2016. Já o limite de plasticidade determinado pelo aparelho vidro Esmerilhado, consiste no teor de umidade que caracteriza o limite entre o comportamento moldável e friável, é obtido em laboratório como sendo a umidade na qual se pode moldar um cilindro de solo com 3mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, seguindo as orientações da ABNT NBR 7184:1984.

### 2.2.2.2 Cimento

A adição de cimento no solo provoca de forma geral modificações em suas propriedades de forma significativa, estas alterações estão relacionadas as características apresentadas pelo solo a ser estabilizado, ao teor de cimento adicionado, a quantidade de água presente na mistura entre outros (FEUERHARMEL, 2000).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) a adição de cimento ao solo em proporções previamente determinadas em laboratório confere à mistura solo-cimento características de resistência e durabilidade em conformidade com a necessidade de utilização do material.

Seguindo as orientações da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2000), os cimentos a serem utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento devem atender as especificações presentes nas seguintes normas regulamentadoras apresentadas pelo Quadro 1.

**Quadro 1 – Normas regulamentadoras para cimento utilizados na produção de tijolos de solo-cimento**

<b>Norma ABNT</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>
NBR 5732	Cimento Portland Comum	1991
NBR 11578	Cimento Portland Composto	1997
NBR 5735	Cimento Portland de Alto-Forno	1991
NBR 5736	Cimento Portland Pozolânico	1986
NBR 5733	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	1991

Fonte: autores (2019).

### 2.2.2.3 Água

A água é o último material a ser incorporado na produção dos tijolos de solo cimento, no entanto esta deve ser tratado com rigoroso controle, uma vez que é a água que irá em primeiro momento dar coesão ao solo para que os tijolos possam ser desmoldados, e com o decorrer do tempo a água irá iniciar o processo de hidratação do cimento dando resistência ao tijolo de solo-cimento (DE PAULA, 2017).

Para que não haja problemas durante o processo de hidratação do cimento, a água a ser utilizada durante o processo de moldagem dos tijolos deve ser livre de qualquer impureza que possa vir a prejudicar esta reação do cimento (ABCP,2000).

### 2.3 Uso de resíduos na produção de tijolos de solo-cimento

Os tijolos ecológicos como definido pela ABNT NBR 8491:1984 são constituídos pela mistura de solo-cimento e água, o traço e proporção do material é definido por aquele que apresentar melhor características mecânicas e menor custo, o solo a ser usado para a fabricação deve ser submetido a ensaios de caracterização para constatar a sua aceitação.

Em ensaios, após experimentar dois tipos de solo para a produção de tijolos modulares de solo cimento, Carneiro et all. (2001) afirmam que o traço pode variar de região para região, isto vai depender das características apresentadas no solo a ser utilizado, pois a sua faixa granulométrica, coesão entre outros fatores faz com que varia a porcentagem de cimento (ligante). Segundo Grande (2003) estudar e buscar novas alternativas de composição para a fabricação desse material apresentará novos cenários tecnológicos e levará a adoção de métodos sustentáveis para a construção civil.

Conforme a ABNT NBR 10832:1989 os tijolos de solo-cimento podem ser produzidos com o uso de aditivos com finalidade de melhorar o desempenho mecânico e trazer economia no custo final do tijolo, o aditivo a ser utilizado deve ser verificado em laboratório para a caracterização do seu desempenho físico, químico e mecânico, e em tudo considerar as condições específicas da produção da mistura em cada caso.

Para Carneiro et all. (2001), a fabricação de materiais para a construção civil com o uso de materiais alternativos evitando assim o descarte do mesmo quando rejeito em locais impróprios e extração de matérias naturais como o solo que promove modificações no meio, contribuem para a redução de impactos ambientais.

Os autores Ferreira e Freire (2005) apontam que na fabricação do tijolo ecológico, os aditivos e a cura são de suma importância para a aquisição de um bom resultado final para todo o processo, esses fatores influenciam amplamente na estabilização e qualidade do solo cimento.

Para a língua portuguesa conforme o dicionário Michaelis (2015), aditivo é uma substância que em um processo de mistura a outra substância é capaz de alterar as suas características iniciais, seja aumentando, diminuindo ou eliminando parte de suas propriedades iniciais. Na construção civil, segundo a ABNT NBR 11768:2011 atualmente o aditivo químico na mistura cimentícias de concreto Portland tem sido

utilizado em grande escala, com o uso desses aditivos essa mistura obtém-se grande vantagem na alteração das propriedades físicas e mecânicas.

Os estudos realizados por Ferreira e Freire (2005) expõem em resultados que o solo pode ser tratado com cimento ou cal, onde ambos resultam em ganhos de resistência à compressão simples tornando a terra um material com características racionalizada e otimizada para atender as necessidades da construção civil, isso seja decorrente de associação ou não de silicato de Sódio.

Diante disso, Ferreira e Freire (2005) explica que com o intuito de um melhor resultado, várias pesquisas tem sido realizada contando com o auxílio de aditivos, os resultados apresentados após ensaios em laboratórios são bastante variáveis, entre a não e a boa viabilidade do aditivo.

Dentre muitas pesquisas realizadas, Alcantara et all. (2011) apresentaram um trabalho fabricando os tijolos de solo cal com adição de cinza de casca de arroz calcinada e moída para fins de aplicação em construção civil, o estabilizante empregado para o solo foi a cal hidratada do tipo CH-III atendendo as características físicas, químicas e mecânicas exigidas pela norma ABNT NBR 7171:1992 e o solo utilizado foi coletado na região da faculdade denominado do tipo A-4, segundo o Sistema de Classificação de Solos do *Transportation Research Board* – TRB (DNIT, 2006). O trabalho citado acima foi desenvolvido no laboratório CESP de Engenharia Civil de Ilha Solta – SP, a mistura dos agregados foram feitas de forma manual e posteriormente prensado em prensa manual caseira, os resultados são apresentados na Tabela 2.3 relacionado ao tempo de cura dos tijolos.

**Tabela 2.3 – Resultados do estudo de Alcantra**

Tempo de cura	Média da Resistência à compressão simples (MPa) $\geq 2,0$	Média da Absorção de água (%) $\leq 20$
28 dias	4,15	17,79
60 dias	3,15	18,05
90 dias	3,62	18,52

Fonte: adaptado Alcantara (2011).

Em um projeto para utilizar entulho como agregado para produzir materiais de construção civil, Carneiro et all. (2001) fabricaram tijolos solo-cimento com o uso de agregados reciclado da Região Metropolitana de Salvador, utilizando o cimento Portland CP II Z 32, água potável, solo laterítico típico da região e agregados miúdos

de origem reciclável de Salvador. O trabalho supracitado adotou os procedimentos indicados pela ABNT NBR 10833:2013, onde produziu os tijolos sem aditivos para definir o traço que atende melhor os requisitos normativos para resistência à compressão e absorção de água com menor consumo de cimento.

Carneiro et all. (2001) definiu o melhor traço a mistura 1:8, sendo produzido novamente com agregados reciclados de argamassa totalmente passante na peneira de 4.8mm, fazendo a substituição parcial do solo em proporções de 25%, 50%, 85% e 100% em massa. A mistura utilizada com proporção de 50% e 75% do aditivo atenderam aos requisitos normativos apresentando respectivamente 3,0 Mpa e 3,1 MPa em resistência à compressão simples e para absorção de água 18,0% e 15%, sendo assim tecnicamente viável de acordo o trabalho de Carneiro et all. (2001).

Estudos realizado por Grande (2003) teve por objetivo verificar a eficiência de tijolos modulares de solo-cimento com o uso de aditivos, a fabricação do tijolos utilizou a mistura tradicional solo-cimento e água para a determinação do traço e posteriormente fabricou o tijolo ecológico com a adição de sílica ativa. O trabalho citado acima utilizou solo foi extraído em Ribeirão Bonito – SP que foi submetido aos ensaios de caracterização e optou-se pelo cimento Portland CII E 32 para a estabilização do solo.

O objetivo do estudo de Grande (2003) é apresentar um traço rico, médio e pobre em relação a quantidade de cimento, foram produzidos os tijolos com traços 1:7, 1:10 e 1:13 com e sem adição de sílica ativa, após serem feitos os ensaios preliminares o traço 1:13 foi eliminado por não apresentar resistência mínima, sendo assim substituído pelo traço 1:12, produzindo novos tijolos com a substituição de 10% em massa do cimento por sílica.

Na pesquisa de Grande (2003), todos os traços foram ensaiados e obtiveram resultados desejados com 7 dias, exceto os tijolos com traço 1:12 que só pode ser utilizado com 28 dias, que foi o período necessário para alcançar resistência suficiente para aprovação.

Para promover descartes legal de resíduos de argamassa, Rodrigues (2008) utilizou esse resíduo como material alternativo para produção dos tijolos modulares de solo-cimento, as amostras coletadas foram britadas separando para uso somente os grãos passantes por peneira 4.8mm.

Para o desenvolvimento do trabalho de Rodrigues (2008), foi extraído o solo de obra de escavações em profundidade mínima de um metro, para evitar matéria



orgânica e impurezas e, predeterminado o cimento Portland composto por filer CP II - F - 32 para estabilização do solo. Na metodologia da pesquisa mencionada acima, o autor supracitado produziu os tijolos sem e com substituição parcial de solo de 5%, 10%, 15% e 20% por resíduos de argamassa, sendo adotado o traço 1:10.

As amostras de tijolos feita por Rodrigues (2008) foram também produzidas com o uso do aditivo plastificante RHEOMIX 610 na proporção de 200ml por 100kg de cimento e foram fabricados 12 tijolos para cada proporção de mistura, sendo todos ensaiados com 7 e 28 dias, utilizando 3 amostras para absorção de água e 3 para resistência à compressão.

Os resultados da pesquisa de Rodrigues (2008) foram desfavoráveis, mas em análise concluiu que o solo natural e com baixo teor do agregado apresentou um ganho em resistência à compressão de 7 para 28 dias e, em relação a absorção de água houve um aumento em capacidade conforme aumentou a porcentagem do agregado adicionado, já o aditivo plastificante utilizado na mistura não apresentou ganho, porém melhorou a resistência ao molde possibilitando a desmoldagem na prensa.

Em conclusão de pesquisa, Carneiro et all. (2001) observa que os materiais alternativos ou aditivos para a produção de tijolos solo-cimento quando apresentam proporções de partículas finas muito baixa contribuem para uma menor resistência mecânica, pois essas partículas são responsáveis pela coesão e resistência inicial dos tijolos podendo assim ser manuseado até o local da cura após a sua moldagem. Um estudo similar, Rodrigues (2008) depara com a situação de que o solo com baixa porcentagem de partículas finas exige um maior uso de cimento para elevar sua resistência à compressão.

De acordo com os autores supracitados, vários podem ser os materiais utilizados como incremento na produção dos tijolos estabilizado com cal ou cimento. Como é o caso da escória de aciaria, material a ser utilizado como agregado para a produção dos tijolos solo-cimento.

## **2.4 Escória de aciaria**

Em conformidade com a Associação Brasileira de Metalurgia - ABM (ABM, 2008), diante de séries de estudos ao longo dos anos concluiu-se que a escória de aciaria é um coproduto significativo da indústria siderúrgica, sendo também conhecido como agregado siderúrgico. Sua origem é proporcionalmente na faixa entre 100 a 150 kg por tonelada de aço produzido, esse valor pode variar conforme as matérias-primas utilizadas e do processo de fabricação de aço empregado (ABM, 2008).

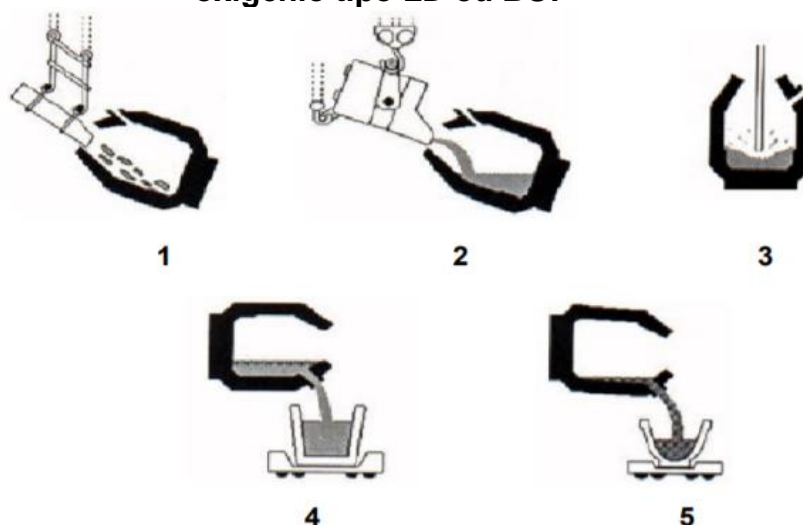
Segundo o Instituto Aço Brasil – IAB (2019), a produção de aço entre o período de julho/2018 a julho/2019 o Brasil produziu 34,53 milhões de toneladas de aço somando-se pela média de rejeito do aço totaliza em uma produção de 4,31 milhões de escória de aciaria, sendo que esse material não tem descarte apropriado, sendo que o mal uso ou descarte desse no meio ambiente promove impactos ambientais.

Através do refino primário do aço é gerada a escória de aciaria, esse processo de refino primário é responsável pela transformação de matéria-prima sólida ou líquida, com desvios de composição em um produto base para a etapa subsequente, o refino secundário, que no convertedor, o oxigênio de alta pureza insuflado através de lança refratária, oxida o carbono, o silício, o manganês, o fósforo e o ferro presentes no gusa líquido (ATHAYDE JUNIOR, 2005).

Segundo a ABM (2008) após a carga metálica ser carregada no *Basic Oxygen Furnace* – BOF que é um dos vários meios de produção de aço, em companhia com os fundentes (cal calcítica, cal dolomítica, fluorita, minério de ferro, etc.) é realizada uma introdução de oxigênio em elevadas pressões e velocidades supersônicas para melhorar as reações e elevar o grau de mistura do banho metálico. Os fundentes têm como função o fechamento do balanço térmico da mistura e a formação de escória que é de vital importância para o processo, pois a mesma serve para limpeza do aço (ABM, 2008).

Em estudos de Araújo (1997), explica que após a retirada da escória de um recipiente mais conhecido como “pote de escória”, o mesmo é transportado a um local adequado onde a escória é basculhada e, posteriormente, resfriada por aspensão de água ou ar. Ainda em estudos de Araújo (1997) o resfriamento acelerado é necessário para redução do tamanho inicial dos blocos de agregados formados e também para facilitar a etapa de separação magnética, todo esse processo de fabricação do aço pelo método BOF e conseqüentemente a escória de aciaria é apresentado a seguir na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Esquema do processo de produção de aço em conversor a oxigênio tipo LD ou BOF



Esquema: (1) carregamento da sucata; (2) carregamento do gusa; (3) sopro de oxigênio; (4) vazamento do aço; (5) vazamento da escória.

Fonte: ARAUJO, 1997.

Após realizar ensaios de caracterização ambiental conforme a norma ABNT NBR 10004/1987, Barbosa (2013) afirma que a escória de aciaria é um material adequado para utilização e reaproveitamento podendo ser utilizado em camadas de base e sub-base ou em outros locais que tenham contato ao meio ambiente, pois comparando as amostras produzidas em cinco estados brasileiros todas elas apresentaram resultados satisfatório sendo nenhuma classificada na classe de resíduos perigosos.

Porém devido a concentração de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , o uso da escória se torna inviável, pelo fato de que essa concentração faz com que a taxa do potencial de expansão seja elevado para determinados fins de utilização podendo chegar a 10%, essa taxa pode ser reduzida para uma porcentagem aceitável através do processo de hidratação (cura), que consiste em um intervalo de 3 a 6 meses através de irrigação (PARENTE et al., 2003).

Com intuito de tornar a escória de aciaria um agregado com expansibilidade controlada, que apresente eficiência como agregado siderúrgico para a sua utilização nos principais meios civil, muitos estudos tem sido desenvolvidos com amostras de diferentes siderúrgica, sendo os principais objetivos determinar o potencial expansível predominante das escórias produzidas no Brasil para que assim estabeleça um mecanismo de estabilização para o melhor aproveitamento desse material (FERNANDES, 2010).

Há órgãos ambientais pertencentes a alguns estados brasileiros que proíbem o uso das escórias de aciaria fresca exigindo que essas devem ficar em um processo de cura em armazéns com irrigação periódica durante 6 meses de modo a garantir o alcance dos parâmetros de lixiviação e solubilização, para que assim também possa estabilizar a expansibilidade das escórias (BARBOSA, 2013).

Em estudos e pesquisas de MACHADO (2000) a escória de aciaria depois de beneficiada é geralmente armazenada em pilhas, assentadas em pátios de estocagem abertos, o processo de “envelhecimento da escória” ou cura, que consiste em molhá-la por um determinado período de tempo, permitirá a hidratação dos referidos óxidos livres com o objetivo de acelerar a expansão volumétrica.

Cardoso (2009) expõe que a vantagem da escória de aciaria beneficiada é o seu possível uso em diversos setores industriais, o setor que mais se destaca esse coproduto é na construção civil onde esse material tem grandes opções de utilização como também em pavimentação. Ainda em estudo, Cardoso (2009) conclui que o reaproveitamento desse material irá promover um ganho sustentável impedindo que essa escória seja descartada ao meio ambiente gerando impactos ambientais, podendo assim diminuir a utilização de recursos naturais, evitar o acúmulo de resíduos em pátio, além de tudo gerar valores a um subproduto do processo siderúrgico.

Freitas (2017) observa que aumentando o tempo de estocagem da escória ela apresenta variações em relação as suas características físicas, após o acompanhamento desse material sendo ensaiado em 5, 60 e 360 dias concluiu-se que o envelhecimento da escória promoveu a hidratação e a carbonatação da cal livre, conseqüentemente houve uma diminuição na densidade, um aumento na porcentagem de porosidade e um aumento na superfície específica.

As escórias que apresentam uma grande superfície específica têm energias de superfícies elevadas, isso é consequência por serem mais reativas, portanto, se destaca como apropriada à produção de cimento, pois aceleram as reações (GUO; SHI 2013).

A Tabela 2.4 mostra os resultados obtidos de análise referente a porcentagem de absorção de água e a massa específica da escória de aciaria com amostras coletadas de cinco estados brasileiros conforme orientações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER - ME 081/98:, mostrando que a escória de aciaria é um material com elevado potencial de uso (BARBOSA, 2013).

**Tabela 2.4 – Análise dos resultados de absorção e densidade**

<b>Densidade e Absorção – agregado graúdo – DNER-ME 081/98</b>					
	Sapucaia do Sul	Rio de Janeiro	Pinda	Barão de Cosais	Simões Filho
<b>Amostra – 19,1mm</b>					
<b>GSB = Densidade aparente</b>	3,14	3,31	3,19	*	*
<b>GSA = Densidade Real</b>	3,26	3,52	3,41	*	*
<b>Absorção (%)</b>	1,13	1,81	2,03	*	*
<b>Amostra – 12,7mm – peneira ½”</b>					
<b>GSB = Densidade aparente</b>	3,15	3,33	3,22	*	3,30
<b>GSA = Densidade Real</b>	3,31	3,55	3,44	*	3,45
<b>Absorção (%)</b>	1,53	1,92	2,01	*	1,19
<b>Amostra – 9,5mm – peneira 3/8”</b>					
<b>GSB = Densidade aparente</b>	3,11	3,27	3,16	2,89	3,30
<b>GSA = Densidade Real</b>	3,24	3,48	3,40	3,06	3,44
<b>Absorção (%)</b>	1,27	1,84	2,28	1,82	1,29
<b>Amostra – 4,8mm – peneira 4</b>					
<b>GSB = Densidade aparente</b>	3,18	3,48	3,30	3,10	3,38
<b>GSA = Densidade Real</b>	3,35	3,73	3,53	3,30	3,54
<b>Absorção (%)</b>	1,60	1,93	1,97	1,87	1,29

Fonte: BARBOSA, 2013.

Conforme o Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS (IBS, 2005), para a escória ser um material adotável em uso de pavimentos suas faixas de qualificação são: absorção de água pelo processo de Forno Elétrico a Arco<sup>1</sup> (FEA) de 1,1% a 2,7%; para a densidade real de origem do FEA é 3,14-3,95 Kg/dm<sup>3</sup>. De acordo com a ABNT NBR 8491/1984 tijolo de solo cimento não pode ultrapassar 20% de absorção de água sua resistência mecânica deve ser superior a 2 MPa.

Segundo FREITAS (2018) o uso da escória de aciaria para produção de tijolos maciços de solo cimento em substituição dos agregados naturais ou ligantes é considerado viável, em estudo após 7 dias de cura os tijolos ecológicos apresentaram resistência acima de 2,0 MPa, proporcionando um menor custo ambiental e energético.

<sup>1</sup> Forno Elétrico a Arco é um tipo de forno industrial que usa a corrente elétrica alternada para produzir calor (RIZZO, 2006).

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia é considerada como sendo uma parte fundamental para se realizar o desenvolvimento de uma pesquisa científica. É devido a sua aplicação que se consegue examinar, descrever e avaliar os métodos e as técnicas que proporcionem o melhor desenvolvimento para a realização desta pesquisa, ajustando-a aos propósitos do estudo (PRODANOV; FREITAS, 2013). E, ainda segundo Prodanov e Freitas (2013), é a metodologia que proporciona as ferramentas necessárias para a coleta das informações essenciais para o cumprimento dos objetivos propostos.

Marconi e Lakatos (2003) descrevem o método de pesquisa como sendo um conjunto de procedimentos racionais realizados de forma sistemática cuja finalidade consiste em alcançar o objetivo proposto, através da obtenção de conhecimentos válidos e verdadeiros, delimitando a forma como será realizada a pesquisa, onde se é possível localizar erros e auxiliar nas tomadas de decisão do pesquisador. Desta forma a escolha do método de pesquisa deve ser realizada em conformidade com a finalidade que se pretende alcançar com o desenvolver da mesma.

No presente capítulo é realizada a apresentação de como a pesquisa se classifica, por meio desta torna-se mais fácil o entendimento sobre os métodos e técnicas escolhidos para a coleta de informações, desenvolvimento da pesquisa e análise dos dados obtidos. Neste capítulo também se descreve todo o procedimento adotado para a construção da pesquisa, iniciando-se pela busca de informações e finalizando-se com a análise dos resultados analisados.

#### **3.1 Classificação da pesquisa**

Este trabalho investiga os efeitos proporcionados pela inclusão da escória de aciaria como agregado na mistura solo-cimento utilizada para a fabricação dos tijolos, avaliando o desempenho de tais tijolos para o incremento de diferentes porcentagens de escória em substituição do solo, analisando sua resistência à compressão e o teor de absorção de água. Desta forma pode-se classificar esta pesquisa cuja finalidade tem caráter exploratória, uma vez que se objetiva buscar mais conhecimento sobre as propriedades de resistência à compressão e absorção de água que a escória de aciaria proporcionará aos tijolos de solo-cimento. Como explicam Prodanov e Freitas

(2013, p.51), “pesquisas que tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto abordado”, apresenta caráter exploratório.

Segundo Prodanov e Freitas (2013) a pesquisa básica tem como finalidade obter conhecimentos novos, os quais irão contribuir para o avanço e desenvolvimento da ciência, no entanto sua aplicação prática não tem previsão para ser realizada. No que diz respeito a sua natureza este estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa básica estratégica, uma vez que busca conhecimentos potencialmente utilizáveis na prática.

Sobre ponto de vista da abordagem do problema a pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa quantitativa, que ainda de acordo com Prodanov e Freitas (2013) é caracterizada por ser uma pesquisa onde se é possível quantificar os resultados, ou seja, é possível transformar os resultados obtidos em números para serem analisados. E ainda classificada como qualitativa, onde as informações obtidas são analisadas de forma conceitual, ou seja, as conclusões são atribuídas as características dos resultados obtidos (GIL, 2008).

Portanto com relação a abordagem esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa, pois utiliza-se de métodos estatísticos e de repetições de ensaios laboratórios para se chegar aos resultados. E também classificada como qualitativa uma vez que os resultados serão analisados de forma conceitual, interpretados e correlacionados com as características dos materiais ensaiados.

## **3.2 Procedimentos metodológicos e técnicos**

Nesta seção são destacados os materiais utilizados para a produção dos tijolos, incluindo os métodos de ensaios de caracterização de cada material. Apresenta-se também os estudos e experimentos preliminares feitos para a escolha do traço, os métodos de ensaios das amostras fabricadas, equipamentos e laboratório utilizados e a programação realizada.

### **3.2.1 Revisão bibliográfica**

Para se desenvolver qualquer tipo de pesquisa é necessário ter uma base onde o trabalho será fundamentado, tendo se em vista que nenhuma pesquisa inicia-se do zero, desta forma é necessário realizar uma procura por trabalhos que sejam

semelhantes ao objetivo da pesquisa a ser desenvolvida, da mesma forma busca-se também por trabalhos que iram complementar as necessidades requeridas pela pesquisa.

Deste modo utilizando-se *sites* de busca e de visitas a biblioteca da Faculdade DOCTUM de Caratinga, pesquisou-se por materiais relacionados à: sustentabilidade na construção civil; tijolos de solo-cimento; reciclagem de resíduos das indústrias envolvidas na construção civil e escória de aciaria.

Dentre os documentos obtidos selecionaram-se trabalhos científicos de diferentes categorias como: monografias, teses, artigos apresentados em congressos, dissertações e livros que complementaram o embasamento científico requerido para o desenvolver da pesquisa.

### 3.2.2 Programa experimental

#### *3.2.2.1 Coleta dos materiais para produção dos tijolos-ecológicos*

Para dar início a parte experimental do trabalho, ficou primeiramente definido quais materiais seriam usados para a composição dos tijolos solo-cimento. Após a definição dos materiais, procedeu-se a coleta dos mesmos.

Praticamente todos os solos podem ser utilizados para esse fim, com exceções aos solos que contém matéria orgânica em sua composição conhecido por solo de cor preta (ABCP, 2000).

A Jazida onde foi coletado amostra do solo é localizada em uma propriedade na zona rural de Caratinga-MG, o local é conhecido por Córrego do Guanabara. Para a extração do solo, foi feito uma escavação para retirar a camada orgânica (camada superior), e coletado o solo da camada inferior, sendo amostras limpas e livres de impurezas.

O solo foi levado para o laboratório de Materiais de Construção da Faculdade DOCTUM de Caratinga para fazer os seguintes ensaios de caracterização da amostra: a) granulometria por peneiramento conforme a ABNT NBR 6502:1993; b) determinação de material fino por lavagem de acordo com a ABNT NBR NM46:2001; c) determinação do Limite de Liquidez (LL), segundo a ABNT NBR 6459:2016; e d) limite de plasticidade (LP), seguindo a ABNT NBR 7180:1984.



Os ensaios de caracterização supracitados têm por objetivo verificar se o solo coletado atende as especificações necessárias a produção dos tijolos solo-cimento. Além disso, os resultados destes ensaios são importantes para compreensão do comportamento dos tijolos produzidos com o acréscimo da escória.

Através de alguns critérios, entre os quais a facilidade de compra, foi determinado a utilização do cimento Portland CII E 32 para a fabricação dos tijolos. Dentre os critérios para a escolha do cimento se destaca por esse ser composto por adição de escória de alto forno tornando esse cimento de procedência parcialmente sustentável.

Além disso, o processo de cura do CP II E é lento comparado a outros tipos de cimento, como o CP I e o CP V – ARI. Em algumas de suas indicações é recomendado o seu uso em lançamentos de concretos maciços, solo-cimento dentre outros artefatos de cimento onde o grande volume reduz a capacidade de resfriamento da massa (ABCP,2000). Na Tabela 3.1 podem ser vistas as características do cimento utilizado.

Tabela 3.1 – **Caracterização do cimento CP II E 32**

<b>Composição do cimento</b> <b>Proporções (%/m. de cimento)</b>	<b>CP II E 32</b>	<b>Requisitos recomendados</b> <b>ABCP</b>
Clínquer	77,04	56% < % < 94%
Escória	19,56	6% < % < 34%
Material Carbonático	3,40	<10%
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3840	>2600

Fonte: adaptado ABCP, incluindo dados fornecidos pelo fabricante CAUÊ.

O local de coleta das amostras de escória, foi de um depósito de escória na rodovia MG-425 no km 58, em Entre Folhas-MG, essa escória é proveniente da Usiminas em Ipatinga-MG. Para coletar as amostras foi levado uma peneira de abertura 4,8mm, e feito o procedimento de peneiramento, separando para utilização somente os grãos passantes na peneira.

Na Figura 3.1 é mostrado o local de coleta, bem como os equipamentos utilizados, como a peneira, pá e saco de linha utilizado para embalagem do produto. As amostras coletadas foram direcionadas ao Laboratório de Materiais de Construção da Faculdades DOCTUM de Caratinga.

Figura 3.1 – Local de coleta das escórias de aciaria



Fonte: acervo dos autores, 2019.

A escória de aciaria apresenta teores de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  livres, esses elementos são os mais importantes na utilização de escórias de aciaria na engenharia de construção civil, incluindo que a estabilidade volumétrica da escória é dependente dos teores desses elementos apresentados na sua composição (MOTZ, 2000 apud SOUZA, 2009).

Segundo Baltazar (2001) quanto maior o teor de  $\text{CaO}$  livre na composição química da escória, quando expostas à umidade ocorre a expansão volumétrica. Dado isso, essa escória foi ensaiada para determinar sua distribuição granulométrica.

O último material necessário a produção dos tijolos solo-cimento é a água. De acordo com a ABNT NBR 10833:1989 água utilizada deve ser isenta de impurezas nocivas a hidratação do cimento, portanto para esse experimento será empregada água tratada fornecida pela concessionária local.

### 3.2.2.2 Ensaios de caracterização do solo

O solo é um material que contém partículas em diversos tamanhos, não tendo padrões específicos de uma só dimensão quando em seu estado natural, por isso as amostras foram submetidas aos ensaios de caracterização.

Sendo assim, para dar início aos ensaios, o solo foi previamente preparado conforme recomendações da norma ABNT NBR 6457:1986. Utilizando uma cápsula de porcelana posta em uma balança de precisão, foi pesada e descontado o seu peso, em seguida pesou-se 1kg de solo, a amostra foi pesada duas vezes totalizando 2kg como mostra na Figura 3.2, essa amostra foi secada em estufa para assim atender a todos os ensaios necessários.

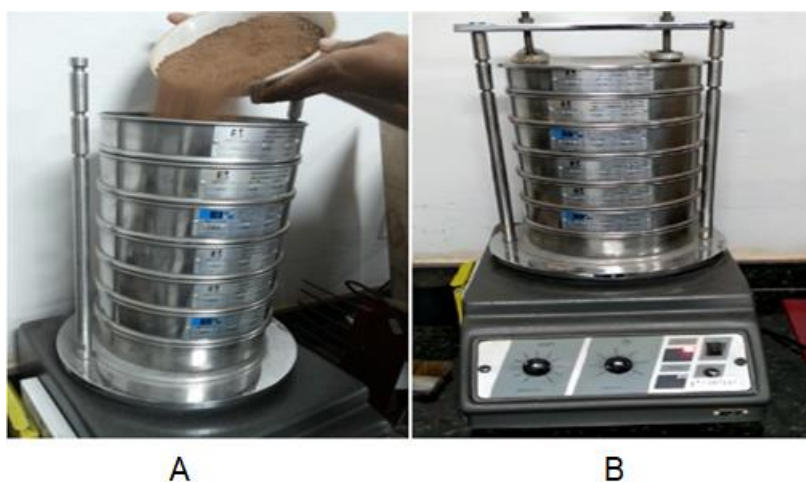
Figura 3.2 – Pesagem da amostra de solo



Fonte: acervo dos autores, 2019.

**Curva Granulométrica por peneiramento.** Para o ensaio de peneiramento foi utilizado 1 kg de solo, o aparelho vibratório e as peneiras com abertura de 4,75mm, 2,36mm, 2mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,3mm e 0,075mm. Foi dispensado em massa 1kg da amostra na peneira de 4,75mm (Figura 3.3A) e posteriormente tampada para evitar quaisquer perda da amostra durante a vibração do conjunto, como mostrado na Figura 3.3B.

Figura 3.3 – Peneiramento da amostra de solo



A

B

Fonte: acervo dos autores, 2019.

O aparelho foi ajustado em uma frequência de 5Hz e programado para peneirar em um tempo de 3 minutos, não há normas que determinam a frequência e o tempo de trabalho.

Após o fim do peneiramento obteve as dimensões das partículas e suas proporções separadamente, diante disso foi possível representar graficamente a curva

granulométrica do solo. Esse procedimento é descrito e regulamentado pela norma ABNT NBR 7181/2016 e ABNT NBR 6502/1993. Na Figura 3.4 é mostrado como ficou separadamente as partículas do solo.

Figura 3.4 – **Distribuição granulométrica**



Fonte: acervo dos autores, 2019.

**Determinação de partículas finas e grossas por lavagem.** O procedimento de lavagem do solo foi feito para determinar a porcentagem de areia, argila e silte contida no solo, em uma cápsula foi pesado 500 gramas de solo (Figura 3.5).

Figura 3.5 – **Pesagem da amostra**



Fonte: acervo dos autores (2019).

Essa amostra foi totalmente despejada na peneira de número 200, certifica-se por distribuição granulométrica que todo o material passante nessa peneira é argila e silte, e todo o retido é caracteriza-se areia. Essa peneira foi colocada sob água corrente por um período de aproximadamente 5 minutos, lavando todo o solo, para que assim eliminasse todo o material fino. Posteriormente foi preparada a amostra para chegar a porcentagem de areia como mostra na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Processo para definição da porcentagem de areia



Fonte: acervo dos autores, 2019.

Na Figura 3.6A mostra o método da frigideira, adotado para secagem das partículas e posteriormente essa amostra foi pesada (Figura 3.6B) para assim obter a porcentagem de areia e argila no solo.

Após os ensaios de granulometria por peneiramento e de identificação de partículas finas e grossas por lavagem, procedeu-se os ensaios para determinação dos Limites de Atterberg do solo coletado.

**Limite de Liquidez.** Tomou-se 100g da amostra previamente secada e passante na peneira de abertura 0,42mm e foi colocada na cápsula de porcelana, a água destilada foi incrementada em pequenas partes, com o uso de uma espátula foi amassando até a mistura obter forma de uma pasta homogênea.

Parte dessa mistura foi transferida para a concha do aparelho de Casagrande, sendo que a espessura na parte central atinja 10mm, para isso foi preenchido 2/3 da concha, moldando a pasta. Finalizando a moldagem, fez-se uma canelura na parte central com a espessura de 10mm.

Com base na norma ABNT NBR 6459:2016, foram dado os golpes até que as duas bordas inferiores da canelura se unissem na extensão de 13mm de comprimento.

Utilizando uma espátula transferiu para um recipiente adequado uma pequena quantidade do material, incluindo os dois lados da canelura onde se verificou a união das bordas e podendo assim determinar a umidade.

Para pesar a amostra, a cápsula utilizada foi pesada em seguida colocado o solo úmido e pesado novamente, para que assim obtivesse somente o peso do solo

saturado, a amostra foi levada a estufa onde permaneceu por 24 hora em temperatura de 105 °C, após a retirada foi pesado novamente a amostra com o solo seco.

Todo esse processo descrito foi repetido cinco vezes, contando com intervalos de 15 a 35 golpes.

Ao final deste ensaio, fez-se o gráfico com o eixo de ordenadas representando os teores de umidade e com o eixo das abscissas representando o número de golpes. Os pontos obtidos no gráfico deram origem a uma reta. Nesta reta obtém-se o teor de umidade equivalente a 25 golpes, que representa o limite de liquidez (LL) do solo, expresso em porcentagem. A realização deste ensaio se deu com secagem prévia da amostra.

**Limite de Plasticidade.** Tomou-se a outra metade do solo preparado conforme ANBT NBR 6457:2016, e deu início ao ensaio normatizado pela norma ABNT NBR 7180:1984 transferindo o solo para uma cápsula de porcelana, adicionando água destilada, amassando e revolvendo, até obtenção de uma pasta homogênea. Tomou-se aproximadamente 10g da mistura, formando uma pequena bola, que foi rolada sobre a placa de vidro com pressão da palma da mão, lhe dando uma forma de cilindro com diâmetro de 3mm e comprimento de 10cm.

Caso a amostra se fragmente antes de atingir tais dimensões, retorna-se com a mesma para a cápsula de porcelana adicionando certa quantidade de água e homogeneizando por mais 3 minutos, e novamente repete-se o processo até que o cilindro atinja a dimensão mencionada. Ao se fragmentar o cilindro com 3mm de diâmetro e 10cm de comprimento, a amostra foi colocada em um recipiente, pesada e posta na estufa com temperatura de 105°C e mantida por 24 horas.

O ensaio é considerado satisfatório quando molda-se no mínimo três cilindros com tais dimensões, portanto nesse ensaio foram produzidos quatro amostras para se obter resultados adequados.

Após a conclusão do ensaio, foi calculado o Índice de Plasticidade (IP) que consiste na relação entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, que é dado pela equação 3.1.

$$IP=LL-LP \quad (3.1)$$

Onde:

IP = Índice de plasticidade;

LL = Limite de liquidez;

LP = Limite de plasticidade.

De acordo com estudos realizados por Carvalho et al. (1979), solos com  $IP < 10$  apresentam uma boa reatividade, solos com  $IP > 10$  também apresentam esse benefício, porém muitos desses solos tem baixa reatividade.

### 3.2.2.3 Caracterização da escória de aciaria

A escória tem a sua distribuição granulométrica bem distinta, além de apresentar em seu processo de cura um fenômeno chamado de expansibilidade volumétrica podendo durar por até 6 meses, fazendo com que a escória obtenha ainda uma alteração em suas dimensões.

Com isso, para determinar a proporção e dimensão das partículas, foi feito a análise granulométrica, o procedimento adotado é semelhante ao realizado com o solo nesse mesmo trabalho.

Para fazer a distribuição granulométrica foram utilizados as peneiras com abertura de 4,75mm, 2,36mm, 2mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,3mm e 0,075mm. Nota-se que utilizou-se as mesmas peneiras do ensaio com o solo para que assim possa comparar a curva da escória com a do solo. Para realizar o ensaio foi empregado uma balança de precisão e uma máquina vibradora como mostra na Figura 3.7, afim de peneirar o material.

Figura 3.7 – Análise da granulometria da escória



Fonte: acervo dos autores, 2019.

Em uma cápsula de porcelana foi pesado a massa de escória em 1Kg (Figura 8A), em seguida dispensada na peneira de 4,75mm e tampada para evitar quaisquer perdas da amostra (Figura 8B), assim foi peneirada por 3 minutos em uma frequência

de 5Hz no vibrador. Vencendo o tempo obteve as proporções por dimensões separadamente mostrado a seguir na Figura 3.8.

Figura 3.8 – **Distribuição granulométrica da escória**



Fonte: acervo dos autores, 2019.

### 3.2.3 Ensaio piloto

Para produzir os tijolos, como descrito acima, previamente foram feitos ensaios de caracterização e pesquisas a respeito de cada material da mistura para certificar a aprovação de todos, de modo que não ocorra nenhum evento indesejado nos resultados por má atribuição dos mesmos.

Inicialmente, foi realizado um estudo piloto para determinar o tamanho da amostra de tijolos a ser produzida e também para definir o traço a ser estudado. No que diz respeito ao traço, se destaca aquele que empregar menor quantidade de cimento contando com um melhor desempenho.

A Tabela 3.2 mostra os traços que foram produzidos respectivamente com a quantidade de tijolos para cada fins.

Tabela 3.2 – **Análise preliminar dos traços**

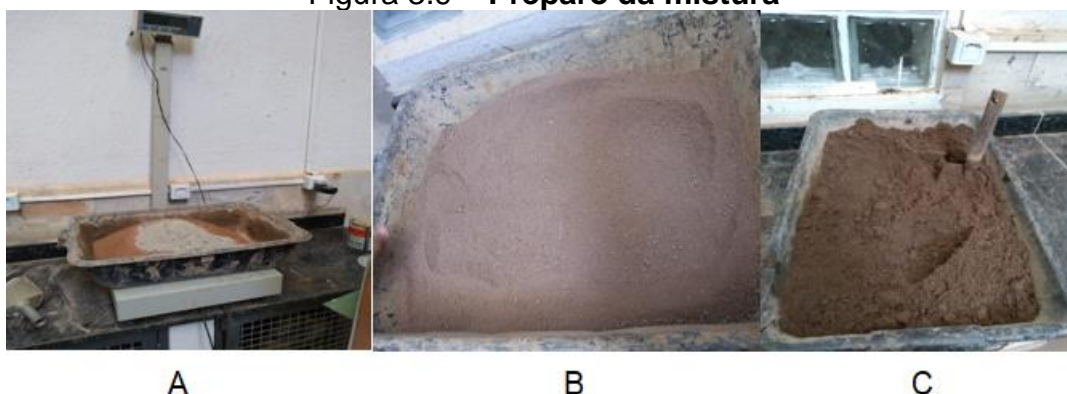
Traço	Quantidade de corpos de prova para ensaio de compressão	Quantidade de corpos de Prova para ensaios de absorção de água	Total
Mistura Solo – cimento (MSC) 1:7	3	3	6
Mistura Solo – cimento (MSC) 1:8	3	3	6
Mistura Solo – cimento (MSC) 1:10	3	3	6

Fonte: dados da pesquisa, 2019.



A produção dos tijolos foi realizada em dois passos sendo chamados de processo inicial e processo final da produção, que são mostrados sequencialmente na Figura 3.9 e na Figura 3.10, mostrando também os passos de cada processo.

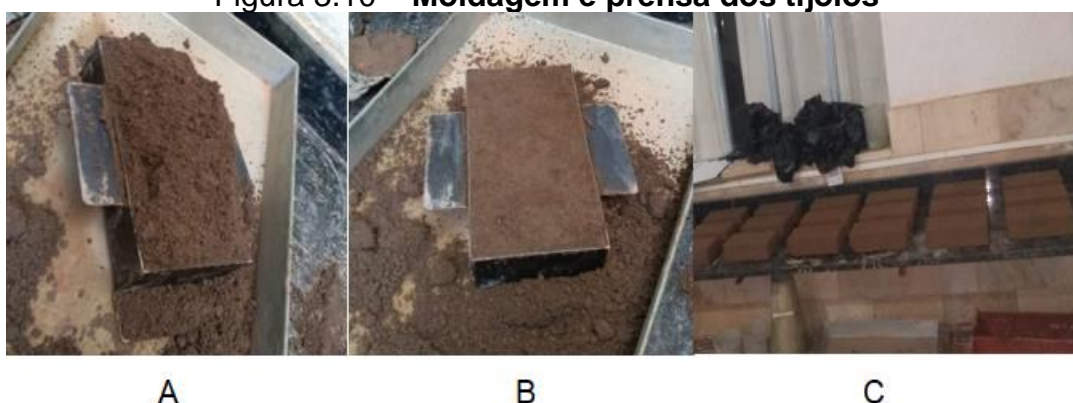
Figura 3.9 – **Preparo da mistura**



Fonte: acervo dos autores, 2019.

A Figura 3.9 apresentada acima representa o processo inicial da fabricação dos tijolos solo-cimento que sequencialmente se dá pela pesagem dos materiais (Figura 3.9A), mistura dos mesmos até atingir coloração uniforme (Figura 3.9B) e adição de água até aquisição da umidade ideal que permite a moldagem dos corpos de prova (Figura 3.9C).

Figura 3.10 – **Moldagem e prensa dos tijolos**



Fonte: acervo dos autores, 2019.

Na Figura 3.10 é mostrado o processo final da fabricação dos tijolos, que sequencialmente é constituído pelo preenchimento do molde com a mistura (Figura 3.10A), prensação da massa de solo-cimento pelo método manual (Figura 3.10B) e por último a retirada dos tijolos do molde e levado ao local de cura (Figura 3.10C).

O molde para a produção dos tijolos é de fabricação artesanal, sendo assim um método totalmente manual sem auxílios de equipamentos hidráulicos e mecânicos para a moldagem e prensação da massa.

Sendo os tijolos produzidos e permanecido por 7 dias em cura, os mesmos foram submetidos aos ensaios, a MSC 1:7 apresentou desempenho satisfatório se enquadrando aos requisitos estabelecidos pela norma.

Portanto, para verificar, foram produzidos novamente os tijolos com MSC 1:7, repetindo o traço 3 vezes, da mesma forma foi produzido tijolos com MSC contando com substituição parcial do solo por escórias em diferentes porcentagens como mostra na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Produção dos tijolos com traço predefinido

Traço	Produção 01 Nº de tijolos	Produção 02 Nº de tijolos	Produção 03 Nº de tijolos	Total
Mistura Solo – cimento (MSC) 1:7	6	6	6	18
Mistura Solo com substituição de 10% por escória – cimento (MSe <sub>10</sub> C) 1:7	6	6	6	18
Mistura Solo com substituição de 20% por escória – cimento (MSe <sub>20</sub> C) 1:7	6	6	6	18
Mistura Solo com substituição de 30% por escória – cimento (MSe <sub>30</sub> C) 1:7	6	6	6	18
<b>Total</b>				<b>72</b>

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Dessa maneira possibilitou que, após ensaiar as amostras aos 7 dias de cura, com os resultados certificou o desempenho apresentado pela MSC 1:7 na determinação do traço, dando sequência foi determinado o melhor traço com adição de escória de aciaria e, partindo de seus resultados apresentados quanto à resistência mecânica e absorção de água, foram novamente fabricados tijolos a partir de um cálculo estatístico que define a população de tijolos necessária para apresentar confiabilidade (Item 3.3) nos resultados.

#### 3.2.4 Ensaios de resistência à compressão e absorção de água

Para a garantia e controle de qualidade, os tijolos após os 7 dias de cura foram submetidos a dois ensaios, sendo estes o ensaio de absorção de água e ensaio de resistência à compressão, onde ambos os ensaios são regulamentados pela norma

ABNT NBR 10836:2013, para cada ensaio a norma exige no mínimo 3 amostras, sendo assim de cada mistura foi separado 3 tijolos para cada ensaio.

**Ensaio de absorção de água.** Para execução desse ensaio, os corpos de provas após a sua cura foram levados à estufa onde permanecerão por um período de 24 horas a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C, após esse tempo as amostras foram retiradas e pesadas em balança obtendo sua massa seca, posteriormente submergidas a água por mais 24 horas. Retirados da água os tijolos foram novamente pesados tendo assim o valor da massa saturada.

O valor que corresponde a absorção de água é expressado em porcentagem pela equação 3.2 a seguir, onde a norma ABNT NBR 8491:1984 regulamenta a porcentagem de absorção média  $\leq 20\%$  com tolerância individual  $\leq 22\%$ .

$$A\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

A% = Absorção de água em porcentagem;

M1 = massa saturada;

M2 = massa seca.

**Ensaio à compressão simples.** Esse ensaio foi executado para determinar a resistência máxima dos tijolos a uma força de compressão. Como mostra a Figura 3.11, foi utilizado a prensa hidráulica com medidor digital.

Figura 3.11 – Rompimento do corpo de prova



Fonte: acervo dos autores, 2019.

Os tijolos foram colocados na prensa com o medidor zerado, em seguida com a alavanca foi aplicada uma força constante de compressão, o medidor mostra a força instantânea, quando a força apresenta uma redução de aplicação, apertando o botão

“pico máximo” foi expresso a resistência máxima em Tonelada Força (Tf) que o tijolo resistiu.

A norma ABNT NBR 8491:1984 exige que a média da resistência à compressão dos tijolos seja  $\geq 2,0$  Mega Pascal (MPa), com tolerância de resultados individuais  $\geq 1,7$  MPa.

### 3.3 Determinação do tamanho da amostra de tijolos de solo-cimento

A partir dos resultados para a resistência à compressão e absorção de água dos tijolos produzidos no estudo piloto, determinou-se o tamanho da amostra a ser produzida para o estudo principal, de modo a obter resultados dentro de um intervalo de confiança de 95%.

Para tanto, desenvolveu-se inicialmente o cálculo da resistência à compressão média das amostras, por meio da equação 3.3.

$$\mu = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.3)$$

Onde:

$\mu$  = Média das amostras;

$\sum x_i$  = Somatório dos resultados dos elementos da amostra;

$n$  = Tamanho da amostra.

Posteriormente realizou-se o cálculo da variância dos resultados, equação 3.4, para identificar o intervalo de variação dos resultados individuais em relação à média amostral.

$$\sigma^2 = \sum p(x)(x-\mu)^2 \quad (3.4)$$

Na qual:

$\sigma^2$  = Variância dos resultados;

$p(x)$  = Probabilidade de sucesso/fracasso;

$x$  = resultado de resistência de cada ensaio;

$\mu$  = Média das amostras.

E por fim realizou-se o cálculo do desvio padrão, equação 3.5, coeficiente que indica o quanto os resultados apresentados pelos corpos de prova são uniformes.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (3.5)$$

Onde:

$\sigma$  = desvio padrão;

$\sigma^2$  = variância.

Para um intervalo de confiança unicaudal de 95%, tem-se que o número padrão Z é 1,65. Adotando-se 0,3 MPa para o erro inferencial do ensaio de resistência à compressão e 2% para o erro inferencial do ensaio de absorção de água, obtém-se o tamanho da amostra por meio da equação 3.6.

$$n = \left( z \frac{\sigma}{e} \right)^2 \quad (3.6)$$

Onde:

n = tamanho da população;

z = variável padronizada da distribuição normal;

$\sigma$  = desvio padrão;

e = erro inferencial.

Calculado o tamanho da amostra, procedeu-se a produção dos tijolos de solo-cimento com adição de escória para estudo da resistência à compressão e da absorção de água.

### 3.4 Procedimento de análise dos resultados

Posteriormente ao processo de coleta de dados é necessário organiza-los e interpreta-los, com o objetivo de produzir os resultados claros e objetivos, para que os mesmos possam ser discutidos e analisados.

Os dados que tem características qualitativas, para serem analisados passaram por um processo de redução e categorização. Através destes processos, que tem por finalidade garantir a objetividade e sistematização da simplificação dos dados obtidos por meio das pesquisas, garante-se melhor performance durante a análise destes dados (GUERRA, 2014).

Para realizar a presente pesquisa é necessária a compreensão de diversos conhecimento relacionados com objetivo do trabalho, iniciando-se pelo papel da construção civil para o desenvolvimento sustentável e finalizando com o conhecimento sobre a utilização de tijolos de solo-cimento e suas propriedades, para o processo construtivo.

De forma complementar ao processo de redução realizou-se a categorização das informações analisadas, este processo foi realizado visando se obter maior organização das informações. Por meio da aplicação destes procedimentos foi possível a realizar a organização do conteúdo bibliográfico na forma do texto apresentado pelo capítulo 2.

Com relação aos dados de caráter quantitativo, estes foram analisados por meio da utilização de métodos estatísticos descritivos, tais como o cálculo de média, que se caracteriza como sendo uma grandeza equidistantes dos resultados obtidos; o cálculo da variância, que representa a dispersão de cada valor do conjunto analisado em relação ao valor da média deste conjunto; o desvio padrão, que consiste em indicar o grau de variação de um grupo de elementos.

Além destes, vários dados passaram por um processo de transformação para unidade de porcentagem, uma vez que os resultados de determinados ensaios são representados por meio de porcentagens. Como o objetivo de demonstrar maior clareza na apresentação dos resultados obtidos, desenvolveu-se gráficos e tabelas que apresentam de forma clara e objetiva os resultados alcançados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização dos materiais

Previamente à produção dos tijolos de solo-cimento realizou-se os ensaios de caracterização dos materiais, essenciais para garantir o bom desempenho dos tijolos de solo cimento.

Sendo ensaiado em laboratório, o solo coletado na zona rural do município de Caratinga em Minas Gerais, para o qual realizou-se os ensaios de análise granulométrica e limites de Atterberg, limites de liquidez e plasticidade.

A escória material a ser utilizado como agregado na produção dos tijolos também passou pelo processo de caracterização, sendo realizada para esta apenas a análise granulométrica.

Já para os demais materiais, água e cimento, utilizados para a produção dos tijolos não passaram por ensaios laboratoriais, uma vez que, estes já se encontram disponíveis dentro das exigências normativas.

#### 4.1.1 Características do solo

O solo consiste no material de maior volume na composição dos tijolos de solo-cimento, portanto suas características estão intrinsecamente ligadas às propriedades que os tijolos apresentaram. Desta forma é de grande importância que todas as características do solo sejam analisadas e que suas propriedades estejam em conformidade com os parâmetros estipulados pela ABNT NBR 10833:2012.

Tendo em vista esta necessidade de se conhecer as características do solo é essencial realizar os ensaios laboratoriais de análise granulométrica e dos limites de liquidez e plasticidade que fornecem estas propriedades fundamentais para a produção dos tijolos de solo-cimento.

##### 4.1.1.1 *Equivalente de areia por lavagem*

É recomendado que o solo a ser utilizado para a produção dos tijolos de solo-cimento apresentem porcentagem de areia próxima a 70% e de material fino próximo a 30%. Com o intuito de verificar esta característica do solo realizou-se o ensaio de

equivalente de areia pelo método de lavagem do material, cujo resultado é apresentado pela Tabela 4.1, que mostra as características obtidas do solo após passado pelo processo de lavagem para determinação da porcentagem de areia e de material fino (argila e silte).

Tabela 4.1 – **Classificação da relação Argila-Silte/Areia no solo**

	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>Classificação do solo</b>	<b>Peneira</b>
<b>Amostra seca</b>	500,00	100,00	Natural	-
<b>Amostra retida</b>	348,26	69,65	Areia	200
<b>Amostra Passante</b>	151,74	30,35	Argila e Silte	200

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Após o processo de lavagem do solo sobre a peneira de número 200, determinou-se que solo possui 69,65% de material arenoso e 30,35% de material fino, o que torna o solo analisado ideal para a produção dos tijolos de solo-cimento, tendo-se em vistas as indicações de Aguilar e Reis (2018).

#### *4.1.1.2 Resultados da análise granulométrica por peneiramento*

Para que o solo possa ser utilizado na produção dos tijolos de solo-cimento este deve atender as exigências da norma ABNT NBR 10833:2012, que prescreve que o solo para a produção dos tijolos deve apresentar 100% de material passante pela peneira com abertura de malha igual a 4,8 mm e deve conter de 10% a 50% de material passante pela peneira de 0,075 mm.

Com o intuito de verificar se o solo coletado para a produção dos tijolos de solo cimento-possui as características supracitadas exigidas pela norma realizou-se o ensaio de granulometria por peneiramento, cujos resultados podem são apresentados pela Tabela 4.2.

Cabe destacar que, segundo Rodrigues (2018), a estabilidade e a resistência do solo estão ligadas, dentre outras características, à distribuição granulométrica de suas partículas. Por isso, a importância de o solo coletado cumprir com as exigências normativas quanto a este quesito.



Tabela 4.2 – Análise granulométrica do solo

<b>Peneira (mesh)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Fração Retida</b>	<b>Porcentagem Retida (%)</b>	<b>Fração Passante</b>	<b>Porcentagem Passante (%)</b>
4	4,75	-	0,00	0,00	1	100,00
8	2,36	78,77	0,08	7,88	0,92	92,12
10	2,00	24,95	0,02	2,50	0,90	89,63
16	1,18	84,80	0,08	8,48	0,81	81,15
30	0,6	167,35	0,16	16,74	0,64	64,41
40	0,425	119,40	0,12	11,94	0,52	52,47
50	0,30	81,82	0,08	8,16	0,44	44,31
200	0,075	334,75	0,33	33,48	0,11	10,84
Fundo	-	108,36	0,11	10,84	0,00	0,00
Total	-	1000	1,00	100	-	-

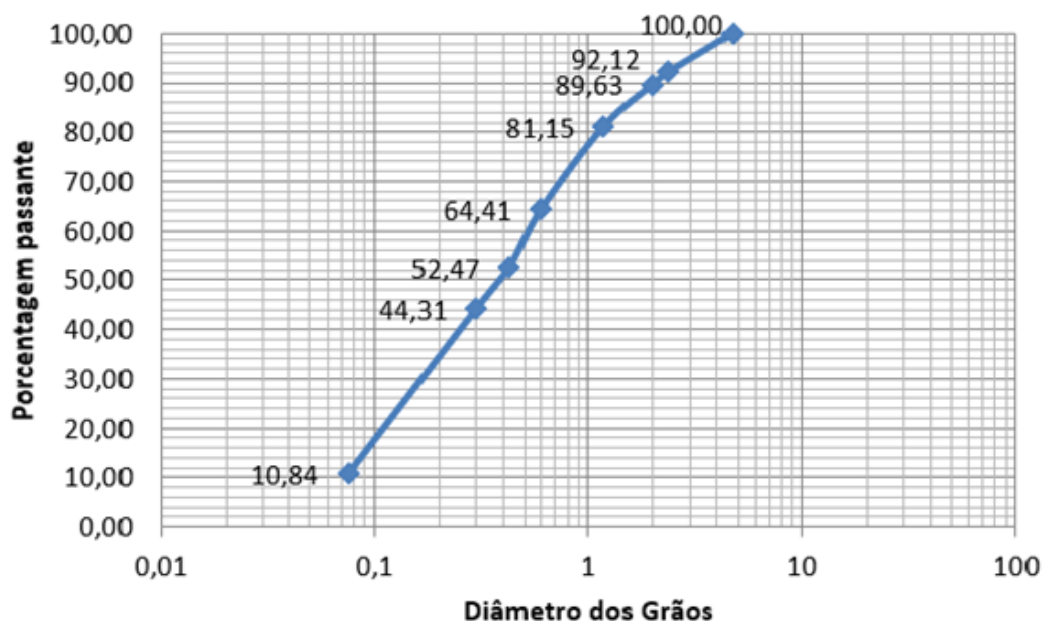
Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Por meio dos dados obtidos pelo ensaio de granulometria verifica-se que o solo analisado apresenta 100% de material passante pela peneira de abertura 4,75 mm e 10,84% passante pela peneira de abertura de 0,075 mm, deste modo verificou-se que o solo utilizado para produção dos tijolos de solo-cimento apresenta os requisitos granulométricos exigidos por norma para sua aplicação como matéria prima para a produção dos tijolos de solo-cimento.

Além de verificar os parâmetros exigidos pela norma, é possível realizar uma previa classificação do solo por meio de sua configuração granulométrica, fazendo uso do método de Classificação Unificada proposta por Casagrande, como aponta Pinto (2006). Neste sistema de classificação o solo é analisado por meio das porcentagens de solo passante pelas peneiras e pelos limites de Atterberg.

Fazendo o uso desta tabela de distribuição granulométrica realizou-se a classificação do solo. O primeiro aspecto que foi analisado consiste na porcentagem de finos presentes no solo, ou seja, a quantidade de solo que passa pela peneira de nº 200. Como a volume de solo passante na peneira de nº 200 é inferior a 50% o solo é classificado como granulação grosseira, e por apresentar 100% de seu volume passante pela peneira de abertura 4,75 mm, caracteriza-se como um solo areia. Ainda utilizando a tabela de distribuição granulométrica construiu-se o Gráfico 4.1, que representa a curva granulométrica do solo.

Gráfico 4.1 – Curva granulométrica do solo



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Por meio da curva granulométrica foi possível determinar o diâmetro efetivo  $D_{10}$  do solo, que segundo Pinto (2006), representa o diâmetro pelo qual 10% das partículas de solo são menores que ele. Para o solo analisado estimou-se por meio da curva de distribuição granulométrica o diâmetro de 0,075 mm.

Além do diâmetro efetivo foi possível determinar através da curva granulométrica os coeficientes  $D_{30}$  e o  $D_{60}$ , que analogamente ao diâmetro efetivo estes, respectivamente, representam o diâmetro abaixo da qual se situam 30% e 60% da massa de solo. Sendo determinado o diâmetro de 0,18 mm para o  $D_{30}$  e o diâmetro de 0,5 mm para o coeficiente  $D_{60}$ .

Segundo Caputo (2003), fazendo-se do uso dos coeficientes  $D_{10}$  e  $D_{60}$  foi determinado o coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ) do solo, que indica a falta de uniformidade do solo, sendo que à medida que este coeficiente diminui tem-se um material mais uniforme. Sua determinação consiste na simples divisão do  $D_{60}$  pelo  $D_{10}$ .

Ainda de acordo Caputo (2003), é possível determinar o coeficiente de curvatura do solo ( $C_c$ ) que complementarmente ao coeficiente de uniformidade indica a graduação do solo. Este coeficiente é obtido pela correlação entre os coeficientes  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  e  $D_{60}$ .

Para o solo analisado o coeficiente de uniformidade determinado apresentou-se por  $C_u = 6,667$ . Já o coeficiente de curvatura obtido para o solo analisado consiste no valor de  $C_c = 0,864$ .

Seguindo os critérios expostos por Caputo (2003) através do valor do coeficiente de uniformidade caracteriza-se o solo como sendo um solo de uniformidade média, e por meio do coeficiente de curvatura define-se o solo como mal graduado.

O solo que não apresenta uma graduação contínua, como é o caso do solo utilizado para a produção dos tijolos, apresenta vantagens em suas propriedades mecânicas, com foco para a resistência à compressão e a absorção de água (CASTRO; PANDOLFELL, 2009).

Isto se deve ao fato de que as partículas apresentando tamanhos distintos, elas se encaixam com maior facilidade diminuindo o número de vazios existente no solo esta característica aumenta a resistência do material e diminui sua absorção de água. Este fenômeno é conhecido como empacotamento de partículas onde partículas de diâmetro menores preenchem os vazios deixados por partículas de diâmetros maiores (CASTRO; PANDOLFELL, 2009).

#### *4.1.1.3 Resultados dos Índices de consistência (limites de Atterberg)*

Apenas a distribuição granulométrica do solo não é suficiente para caracterizar o comportamento deste material, uma vez que a fração fina presente no solo influencia diretamente o seu comportamento principalmente perante a presença de água.

Deste modo foi realizado os ensaios de limite de liquidez e plasticidade que permitem determinar o índice de plasticidade (IP) e analisar o comportamento desta fração fina que está presente no solo.

O limite de liquidez que é caracterizado como o valor de pelo qual o solo passa do comportamento líquido para o estado de comportamento plástico. Este ensaio foi realizado seguindo as orientações da ABNT NBR 6459:2016, sendo executado com o auxílio do aparelho de Casagrande, onde realizou-se a coleta de dados para 5 operações do aparelho de Casagrande. A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos através da execução das operações.

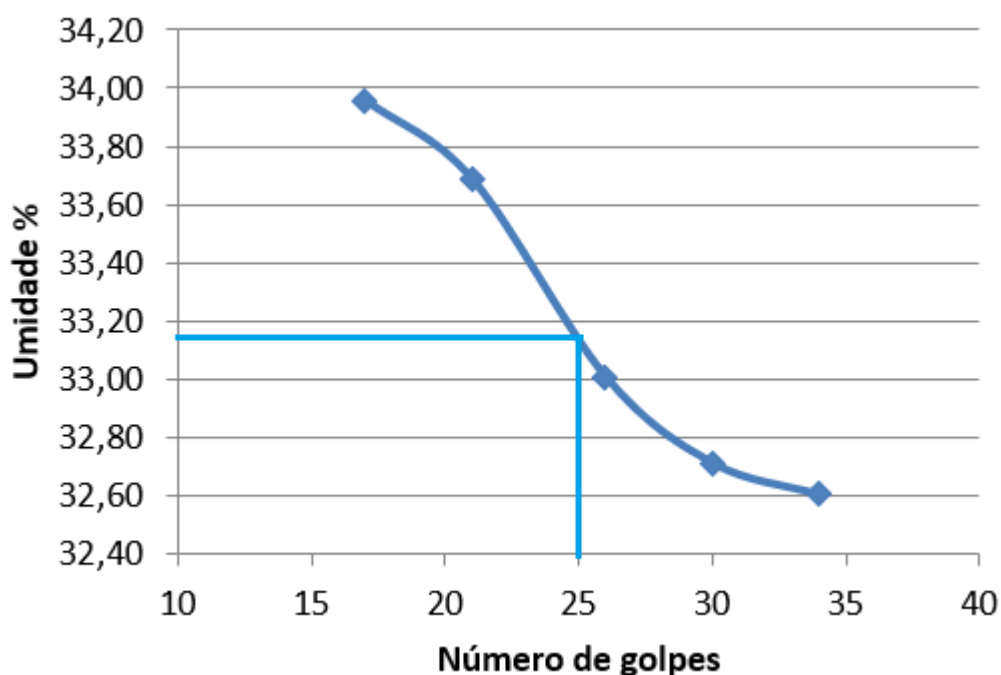
Tabela 4.3 – Determinação do limite de liquidez

Cápsula n°	1	2	3	4	5
N° de golpes	34	30	26	21	17
Peso da Cápsula + Solo úmido (g)	20,50	24,62	28,25	24,36	25,52
Peso da Cápsula + Solo seco (g)	18,41	21,98	24,51	21,51	22,52
Peso da Cápsula (g)	12,00	13,91	13,18	13,05	13,98
Teor de umidade (%)	32,61	32,71	33,01	33,69	33,96

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Através dos resultados obtidos pela execução do ensaio limite de liquidez e fazendo-se do uso dos dados apresentados na Tabela 4.3, construiu-se o Gráfico 4.2, que possibilita a determinação do limite de liquidez para o solo ensaiado. Limite este, que corresponde à umidade relativa à 25 golpes.

Gráfico 4.2 – Gráfico para determinação do limite de liquidez



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Para o solo utilizado na produção dos tijolos observou-se o limite de liquidez como sendo o valor de umidade igual a 33,15%, atendendo desta forma o requisito da norma ABNT NBR 10833:2012, que determina que o solo para ser utilizado na produção dos tijolos de solo-cimento deve apresentar limite de liquidez menor ou igual a 45%.

De forma complementar ao limite de liquidez foi determinado o limite de plasticidade que se caracteriza como o teor de umidade que delimita a passagem do solo do estado plástico para o estado simi-sólido. Os dados obtidos no ensaio do limite de plasticidade são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – **Determinação do limite de Plasticidade**

<b>Cápsula n°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Peso da Cápsula + Solo úmido (g)</b>	15,58	16,08	16,75	15,58
<b>Peso da Cápsula + Solo seco (g)</b>	15,24	15,76	16,37	15,27
<b>Peso da Cápsula (g)</b>	13,84	14,08	15,25	13,86
<b>Teor de umidade (%)</b>	24,29	19,05	33,93	23,13
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>	24,81%			

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Por meio dos dados apresentados pela Tabela 4.4, determina-se o limite de plasticidade do solo como sendo  $LP = 24,81\%$ . Este resultado foi utilizado para determinar o índice de plasticidade do solo.

Realizando-se a compilação dos resultados obtidos pelos ensaios de caracterização do solo, foi determinado o índice de plasticidade do solo analisado, por meio da simples subtração do limite de liquidez pelo limite de plasticidade. Deste modo foi possível determinar o solo com  $IP = 8,34\%$ . A Tabela 4.5 apresenta de forma resumida os resultados obtidos para os índices físicos do solo analisado.

Tabela 4.5 – Índices físicos do solo

<b>Limite de Liquidez (LL)</b>	33,15%
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>	24,81%
<b>Índice de Plasticidade (IP)</b>	8,34%

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Através dos dados da Tabela 4.5 determinou-se que o solo analisado está apto a ser utilizado para a produção dos tijolos de solo-cimento, uma vez que, este apresenta limite de Liquidez menor que 45% e índice de plasticidade menor que 18%, desta forma cumprindo todos os requisitos exigidos pela ABNT NBR 10833:2012.

#### 4.1.2 Caracterização da escória

A escória de aciaria foi o material utilizado com agregado para a produção dos tijolos de solo-cimento e para ser utilizada com tal fim está deve atender à exigência da norma ABNT NBR 10833:2012 quanto a sua distribuição granulométrica. Com o intuito de verificar se a escória apresenta tais requisitos realizou-se o ensaio de granulometria por peneiramento da mesma onde os resultados são expressos pela Tabela 4.6, indicando a porcentagem de partículas de acordo com o diâmetro dos grãos.

Tabela 4.6 – Distribuição granulométrica da escória de aciaria

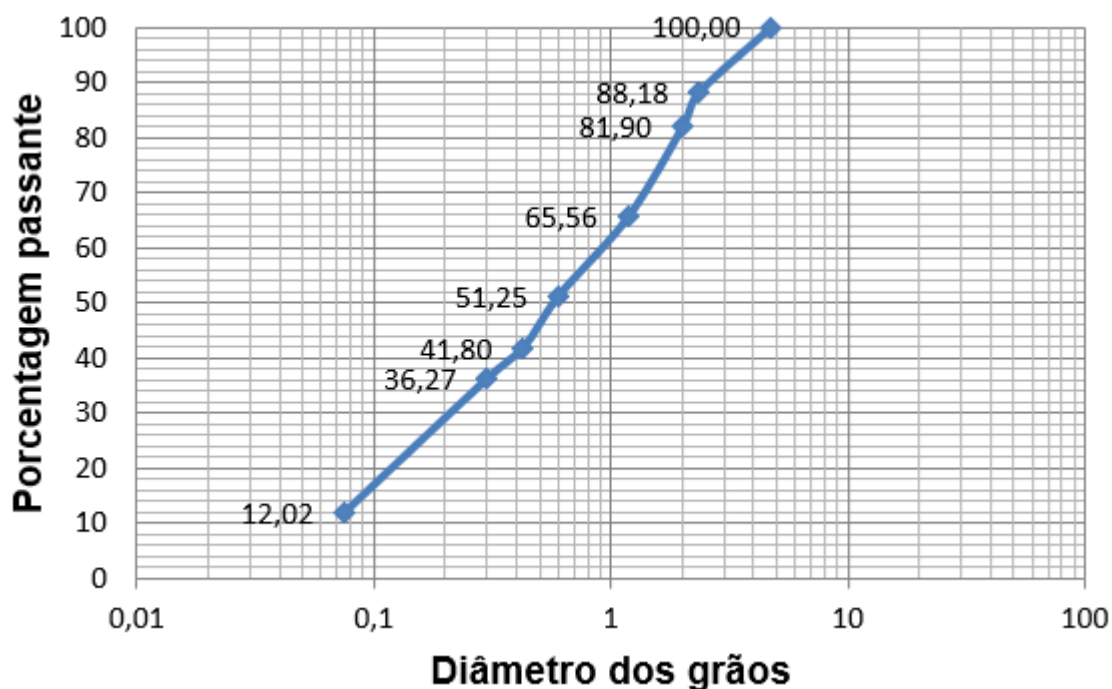
<b>Peneira (mesh)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Fração Retida</b>	<b>Porcentagem Retida (%)</b>	<b>Fração Passante</b>	<b>Porcentagem Passante (%)</b>
4	4,75	-	0,00	0,00	1	100,00
8	2,36	118,19	0,12	11,82	0,88	88,18
10	2	62,83	0,06	6,28	0,82	81,89
16	1,18	163,35	0,16	16,33	0,65	65,56
30	0,6	143,14	0,14	14,31	0,51	51,25
40	0,425	94,46	0,09	9,45	0,42	41,80
50	0,3	55,29	0,05	5,53	0,36	36,27
200	0,075	242,55	0,24	24,25	0,12	12,02
Fundo	-	120,19	0,12	12,02	0,00	0,00
Total	-	1000	1,00	100	-	-

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Através da Tabela 4.6 é possível observar que a escória atende os requisitos exigidos pela norma, uma vez que apresenta 100% de suas partículas passante pela peneira de abertura igual a 4,75mm e também apresenta uma quantidade de finos adequada para este emprego, já que apresenta 12,019% de material passante pela peneira de abertura igual a 0,075mm e a norma exige uma quantidade entre 10% e 50% de material passante por esta peneira.

Além de verificar as características exigidas pela norma, com os dados de distribuição granulométrica da Tabela 4.6 foi possível construir a representação gráfica granulometria da escória, ou seja, construiu-se a curva granulométrica da escória Gráfico 4.3.

Gráfico 4.3 – Curva granulométrica da escória



Fonte: elaborado pelos autores (2019).

De forma semelhante aos tratamentos dos dados obtidos pelo ensaio de granulometria do solo, através da curva granulométrica da escória é possível determinar os coeficientes  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  e  $D_{60}$  que fornecem informações sobre o comportamento e a graduação deste material.

Fazendo-se o uso da curva granulométrica do Gráfico 4.3 estimou-se o coeficiente  $D_{10} = 0,07$  mm, sendo este o diâmetro efetivo do solo, já para o coeficiente  $D_{30}$  e  $D_{60}$  determinou-se respectivamente os valores de 0,11 mm e 0,9 mm. Através destes dados obteve-se o coeficiente de uniformidade  $C_u = 12,857$  e o coeficiente de curvatura  $C_c = 0,192$ . De acordo com Caputo (2003) para estes valores de coeficientes

de uniformidade e de curvatura a escória é caracterizada como sendo um material de uniformidade média e mal graduada.

Através desta caracterização pode-se identificar a escória como um material com propriedades granulométricas semelhantes as características do solo utilizado para a produção dos tijolos de solo-cimento.

## 4.2 Determinação do traço

As amostras com mistura solo-cimento (MSC) em diferentes traços foram ensaiadas para obtenção do melhor traço, tendo em vista o menor consumo de cimento juntamente a resistência mecânica e a absorção de água que devem estar dentro dos limites normativos. Na Tabela 4.7 mostra os resultados para resistência à compressão e absorção de água.

Tabela 4.7 – **Determinação do traço da mistura solo-cimento (MSC)**

Traço	Resistência à Compressão		Absorção de Água	
	Individual 1,7 MPa ≤	Médio 2,0 MPa ≤	Individual ≤ 22%	Médio ≤ 20%
<b>MSC 1:7</b>	2,03		17,86	
	3,08	2,48	17,23	17,48
	2,35		17,34	
<b>MSC 1:8</b>	1,74		16,36	
	1,83	1,74	17,90	17,24
	1,65		17,46	
<b>MSC 1:10</b>	1,58		15,47	
	1,58	1,56	14,23	14,86
	1,53		14,89	

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

A configuração do solo é que determina a porcentagem de cimento a ser utilizado. Grande (2003) explica que o solo quando apresenta uma composição granulométrica bastante arenosa, se a mistura obtiver baixa adição de cimento faz com que o tijolo não tenha coesão o suficiente para liga, resultando em baixa resistência mecânica.



Diante dos resultados apresentados na Tabela 4.7, como o que já se esperava nota-se uma tendência em aumento de resistência mecânica dos tijolos conforme aumenta a quantidade de cimento no traço, em contrapartida aumentou-se também a taxa de absorção de água, o que não é desejável.

Conforme requisitos preestabelecidos pela norma ABNT NBR 10833:1989 indica-se que entre 10% a 50% do solo seja passante na peneira de 0,075mm, o solo por apresentar o valor quase mínimo faz com que a sua estabilização por cimento exige uma proporção maior.

Dentre os resultados apresentados, o traço MSC 1:7 destacou por estar dentro das exigências da norma ABNT NBR 10834:1994. No manual técnico da empresa Sahara Tecnologias (AGUILAR; REIS, 2018) especializada em máquinas e equipamentos para produção de tijolos ecológico, explica que o traço correto em relação solo-cimento é o 1:7.

Sendo assim, ficou determinado esse traço para ser produzidos novos tijolos com mistura de solo tendo substituição parcial por escória em diferentes porcentagens mais cimento sendo nominado de mistura solo-escória-cimento (MSeC).

### 4.3 Estudo piloto

O estudo piloto foi constituído pela repetição do traço MSC 1:7, produção da MS<sub>10eC</sub>, MS<sub>20eC</sub> e MS<sub>30eC</sub>. Este estudo teve como finalidade principal proporcionar dados para o cálculo do tamanho da amostra, ou seja, para determinar quantos blocos teriam que ser produzidos para que os resultados apresentem uma confiabilidade de 95%. Além disso, os resultados obtidos neste estudo inicial possibilitou uma análise preliminar sobre a influência da escória nas propriedades dos tijolos. Para tanto, na Tabela 4.8 estão dispostos os resultados de cada mistura para resistência à compressão, bem como o desvio padrão da resistência em cada caso.

Tabela 4.8 – Resultados de resistência do estudo piloto

Traço 1:7		Resistência à Compressão (MPa)			Média (MPa)	Média das misturas (MPa)	Desvio Padrão
		Corpo de Prova I	Corpo de Prova II	Corpo de Prova III			
MSC	Mistura 01	3,03	2,74	2,86	2,88	2,52	0,315
	Mistura 02	2,16	2,67	2,18	2,35		
	Mistura 03	2,46	2,18	2,33	2,32		

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Tabela 4.8 – Resultados de resistência do estudo piloto (Continuação)

Traço 1:7		Resistência à Compressão (MPa)			Média (MPa)	Média das misturas (MPa)	Desvio Padrão
		Corpo de Prova I	Corpo de Prova II	Corpo de Prova III			
MS <sub>10eC</sub>	Mistura 01	1,90	2,32	1,86	2,03	2,08	0,08
	Mistura 02	1,96	2,04	2,11	2,03		
	Mistura 03	2,23	1,97	2,32	2,17		
MS <sub>20eC</sub>	Mistura 01	3,70	3,57	3,42	3,56	3,70	0,15
	Mistura 02	3,62	3,81	3,59	3,67		
	Mistura 03	3,76	3,99	3,83	3,86		
MS <sub>30eC</sub>	Mistura 01	3,25	3,37	3,86	3,49	3,61	0,193
	Mistura 02	3,71	3,84	3,95	3,83		
	Mistura 03	3,74	3,32	3,44	3,50		

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Na Tabela 4.9 são apresentados os resultados de absorção de água dos tijolos produzidos com as diferentes misturas, além de seus respectivos desvio padrão.

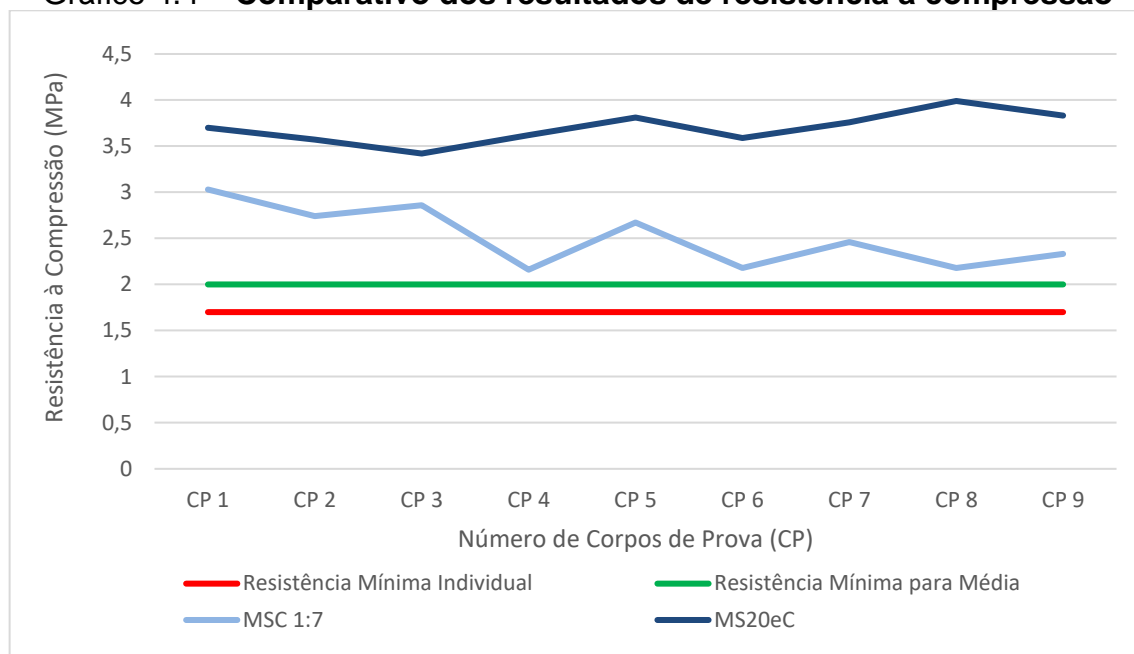
Tabela 4.9 – Resultados de absorção de água do estudo piloto

Traço 1:7		Absorção de Água (%)			Média (%)	Média das misturas (%)	Desvio Padrão
		Corpo de Prova I	Corpo de Prova II	Corpo de Prova III			
MSC	Mistura 01	16,56	14,66	15,31	15,51	16,80	1,134
	Mistura 02	17,92	16,88	17,03	17,27		
	Mistura 03	17,06	18,88	16,95	17,63		
MS <sub>10eC</sub>	Mistura 01	18,49	17,76	17,99	18,08	18,45	1,117
	Mistura 02	16,57	20,98	21,58	19,71		
	Mistura 03	17,32	17,83	17,56	17,57		
MS <sub>20eC</sub>	Mistura 01	19,54	18,03	20,71	19,43	17,87	1,698
	Mistura 02	19,01	18,53	20,71	18,11		
	Mistura 03	16,28	16,69	15,22	16,06		
MS <sub>30eC</sub>	Mistura 01	19,69	18,90	17,30	18,63	18,95	0,899
	Mistura 02	18,18	19,22	17,39	18,26		
	Mistura 03	19,61	20,32	19,98	19,97		

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

No Gráfico 4.4 é apresentada uma comparação entre os resultados da resistência à compressão dos tijolos MSC 1:7 e MS<sub>20eC</sub>, mostrando a sua posição em relação aos requisitos mínimos e máximos da norma ABNT NBR 10834/1994.

**Gráfico 4.4 – Comparativo dos resultados de resistência à compressão**

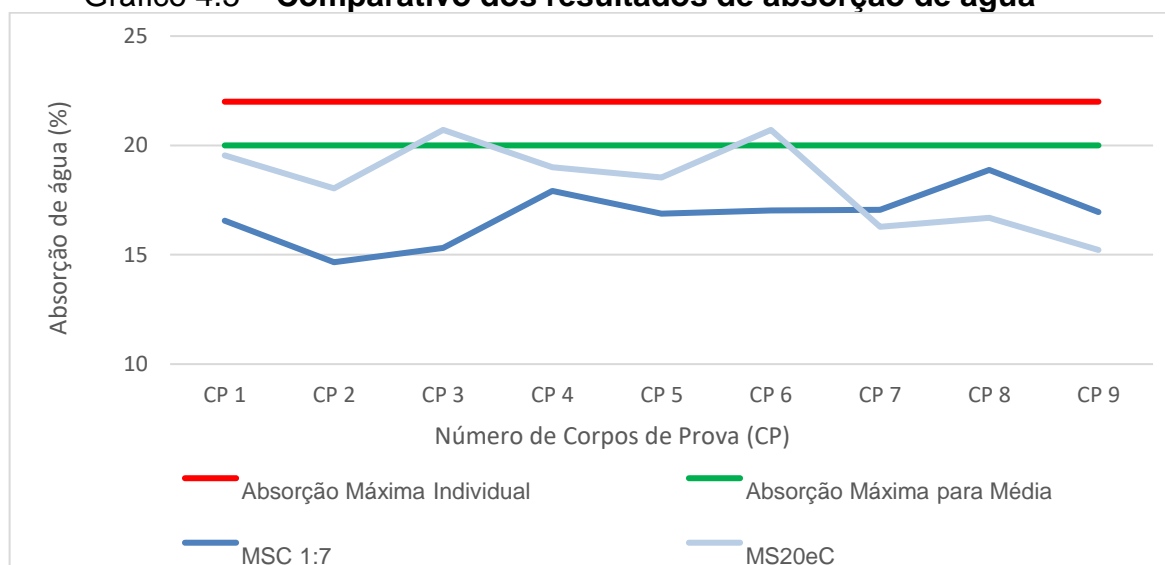


Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Como pode-se observar, ambas misturas produziram tijolos com resistência acima dos limites normativos, com destaque para a mistura com escória (MS<sub>20eC</sub>) que apresentou os maiores valores.

De modo semelhante, o Gráfico 4.5 traz a comparação entre os resultados para a absorção de água dos tijolos MSC 1:7 e MS<sub>20eC</sub>. Tem-se por referência os limites máximos estabelecidos na ABNT NBR 10834/1994.

**Gráfico 4.5 – Comparativo dos resultados de absorção de água**



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Nesses gráficos são apresentados os traços que apresentou melhor resultados sem e com adição de escória de aciaria. É possível notar a diferença atribuída através do uso da escória que contribuiu em grande escala para o aumento da resistência à compressão, aumentando também a taxa de absorção de água em acréscimos não significantes.

A quantidade de tijolos a ser produzido para o estudo principal é dada através do desvio padrão, obtido pelos resultados de absorção de água e resistência à compressão das amostras produzidas no estudo piloto. Para que os resultados estejam dentro de um intervalo de confiança de 95% a quantidade de tijolos a ser produzida para o ensaio de resistência à compressão são 14 unidades, e para o ensaio de absorção de água são 4 unidades.

#### 4.4 Estudo principal

O estudo aqui denominado como principal, diz respeito a repetição da produção dos tijolos, com as misturas determinadas no estudo piloto, para determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Isto porque, é objetivo deste trabalho apresentar resultados com determinado nível de confiança, o que exige a repetição dos ensaios em um número significativo de tijolos.

Selecionou-se o traço com adição de escória que melhor se destacou em desempenho, sendo esse traço a mistura que contém 20% de escória de aciaria, a MS<sub>20eC</sub>. Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados para resistência à compressão simples dos tijolos.

**Tabela 4.10 – Resistência à compressão para o ensaio de confiabilidade**

<b>Mistura solo-escória-cimento (MS<sub>20eC</sub>)</b>			
<b>Nº do Corpo de Prova (CP)</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	<b>Média (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
CP 1	3,65	3,74	0,144
CP 2	3,57		
CP 3	3,99		
CP 4	3,83		
CP 5	3,79		
CP 6	3,58		
CP 7	3,70		
CP 8	3,61		

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

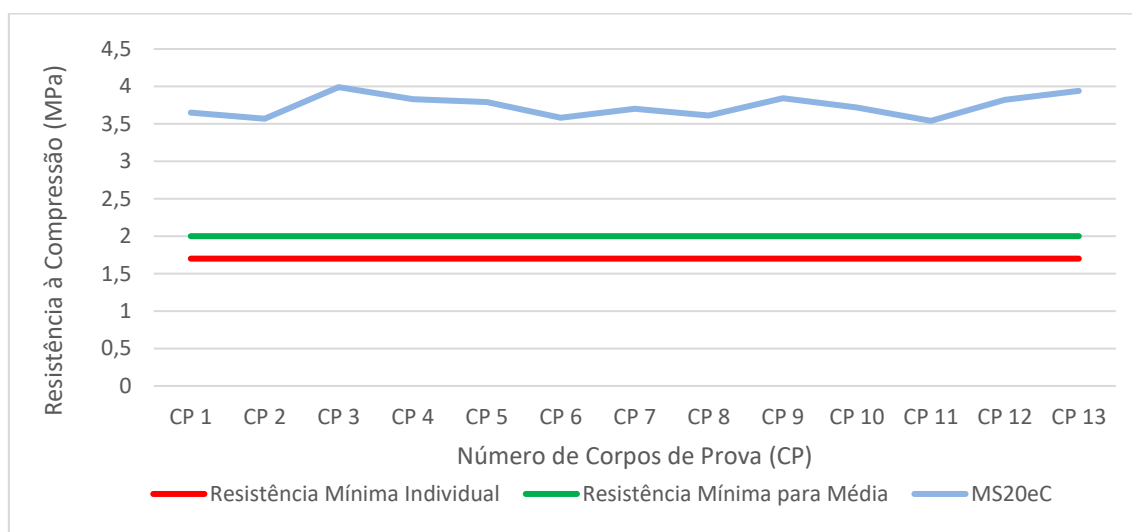
Tabela 4.10 – Resistência à compressão para o ensaio de confiabilidade (Continuação)

Mistura solo-escória-cimento (MS <sub>20eC</sub> )			
Nº do Corpo de Prova (CP)	Resistência à Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
CP 9	3,84	3,74	0,144
CP 10	3,72		
CP 11	3,54		
CP 12	3,82		
CP 13	3,94		

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Os resultados obtidos nesse experimento mostram uma semelhança em relação aos resultados do estudo piloto. O Gráfico 4.6 apresenta um comparativo dos resultados do estudo principal com os valores mínimos normativos.

Gráfico 4.6 – Resistência à compressão do estudo principal



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

A aprovação dos tijolos depende também dos resultados de absorção de água, que estão apresentados na Tabela 4.11.

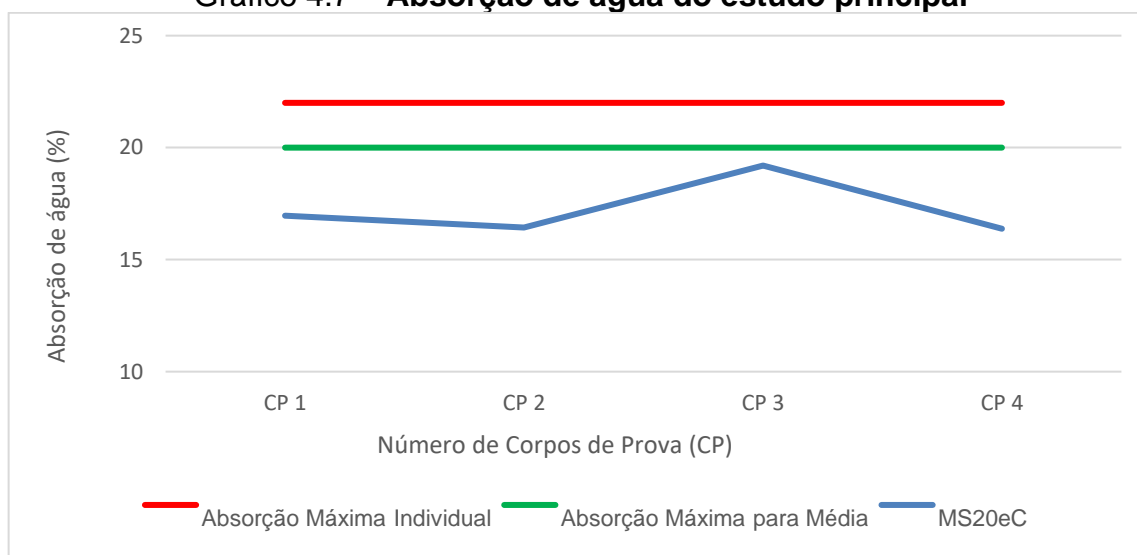
Tabela 4.11 – Absorção de água para o ensaio de confiabilidade

Mistura solo-escória-cimento (MS <sub>20eC</sub> )			
Nº do Corpo de Prova (CP)	Absorção de água (%)	Média (%)	Desvio Padrão
CP 1	16,96	17,24	0,994
CP 2	17,43		
CP 3	19,2		
CP 4	17,38		

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Para a absorção de água, no estudo principal apresentou ainda uma redução nos valores diminuindo o desvio padrão, mostrando assim um melhor desempenho dos tijolos e estabilização no processo de produção. No Gráfico 4.7 é mostrado os valores para absorção de água dos tijolos do estudo principal em comparativo aos requisitos mínimos da norma vigente.

**Gráfico 4.7 – Absorção de água do estudo principal**



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Indica-se que a substituição parcial do solo por escória, promoveu um ganho em resistência mecânica, sendo que esse ganho não teve acréscimos proporcional a quantidade de escória adicionada, pois o mesmo apresentou um ganho máximo em resistência na substituição parcial do solo por escória equivalente a 20% e, na substituição equivalente a 30% houve uma queda dessa resistência.

Em outra parte, a adição de escória de aciaria fez com que a absorção de água aumentasse, apresentando uma taxa menor nos tijolos de mistura com 20% de escória e, aumentando novamente em 30%. Isso mostrou que a MS<sub>20eC</sub> é a que apresentou melhor desempenho.

A influência da escória nos tijolos modulares de solo-cimento se dá em função das suas proporções granulométricas. Onde a sua distribuição granulométrica apresenta grãos em dimensões compatíveis com o solo.

Carneiro et all. (2001) aponta em seus resultados que os aditivos não podem apresentar proporções de partículas finas muito baixa, pois essas partículas são responsáveis pela coesão e resistência inicial dos tijolos, reduzindo sua capacidade de absorção de água. O que não ocorre para a escória de aciaria onde pode-se

perceber que a absorção de água teve um pequeno aumento, devido sua distribuição granulométrica.

Rodrigues (2008) deparou com resultantes semelhantes após usar resíduos de argamassa em substituição parcial do solo, o agregado por ser muito arenoso, não deu coesão o suficiente na mistura, contribuiu para o aumento da resistência à compressão aumentando também a absorção de água.

Freitas (2018) expõe que a escória de aciaria na produção de tijolos maciço de solo-cimento substituindo os agregados naturais é viável, conseqüentemente gera um menor custo ambiental e energético.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência do aumento cada vez mais constante da necessidade de se consumir matéria prima nos processos de construção civil, aliado ao fato de que estes materiais se encontram cada vez mais escassos e que o impacto ambiental para a obtenção dos mesmo é consideravelmente elevado, surge a necessidade pela busca de alternativas, que reduzam o impacto ambiental proveniente desta exploração desenfreada e proporcionem o reaproveitamento e a reciclagem de resíduos da construção civil.

É neste contexto que surge a preferência pela utilização de materiais com caráter cada vez mais sustentáveis. Desta forma o tijolo ecológico de solo-cimento com a adição de resíduos, como neste caso a escória de aciaria, se apresenta como uma possível alternativa para reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Através dos ensaios de caracterização dos materiais, determinou-se que os materiais utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento, incluindo a escória de aciaria, apresentaram as características necessárias para seu emprego na mistura solo-cimento para a produção de tijolos.

Por meio da execução de traços distintos, ou seja, com diferente proporção entre solo e cimento, sendo executado os traços com relação solo-cimento de 1:7, 1:8 e 1:10, observou-se que para o solo utilizado na produção dos tijolos o traço que obteve melhor desempenho caracterizou-se como o traço de 1:7 alcançando resistência à compressão de 2,48 MPa e absorção de água 17,48 %, sendo este o traço mais apropriado para a produção dos tijolos.

Sendo determinado o melhor traço para o solo utilizado na produção dos tijolos de solo-cimento, seguiu-se com a produção dos mesmo com a substituição parcial e gradativa do solo por porcentagens distintas de escória de aciaria, onde foram produzidos tijolos com a substituição de 10%, 20% e 30% de escória de aciaria por solo na composição da mistura de solo-cimento.

Tendo produzido os tijolos de solo-cimento com percentuais distintos de escória de aciaria, realizou-se os ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água para verificar se os tijolos apresentaram resistência e absorção em conformidade com as exigências da norma ABNT NBR 8491:1984. Onde determinou-se que para os tijolos com substituição de 10%, 20% e 30% obteve-se resistência média à compressão, respectivamente, de 2,08 MPa, 3,70 MPa, 3,61 MPa e valores médios



de absorção de água para os mesmos, respectivamente, iguais a 18,45%, 17,87% e 18,95%.

Tantos os valores de resistência à compressão quanto os valores de absorção de água, satisfazem as exigências da norma ABNT NBR 8491:1984, que defini os valores de resistência à compressão médio mínimo para os tijolos de 2,0 MPa e, valores médios de absorção de água inferiores a 20%. Portanto todas as porcentagens de escória de aciaria analisadas tem possibilidade de serem utilizadas na produção dos tijolos de solo-cimento.

Através dos resultados obtidos pelos ensaios de resistência à compressão e absorção de água dos tijolos produzidos com adição da escória de aciaria, pode-se observa que a substituição de 20% de solo pela escória apresentou melhor desempenho em termos de resistência e absorção de água, caracterizando está como a melhor proporção de substituição para a produção dos tijolos de solo-cimento, de acordo com as características dos outros materiais empregados.

Por meio do estudo principal realizado com a porcentagem de escória igual a 20%, sendo esta a que proporcionou melhor desempenho aos tijolos, determinou-se por meio da repetição dos ensaios, que a substituição do solo pela escória conferiu aos tijolos um ganho de resistência consideravelmente alto na ordem de 48,41%. Em vista disso a substituição do solo pela escória de aciaria em porcentagem igual a 20%, traz a possibilidade de aumentar significativamente a resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento.

De acordo com os resultados de resistência à compressão e absorção de água obtidos, para os tijolos produzidos com a substituição do solo por percentuais de escória de aciaria, pode-se verificar que este material apresenta possibilidade de ser incorporado para a produção dos tijolos de solo-cimento, desde que, todos os matérias componentes da mistura apresentem as características exigidas para tal emprego. Conferindo assim um ganho para o meio ambiente de forma geral, uma vez que, faz-se o reaproveitamento de um material que seria descartado no meio ambiente, evitando-se a extração de um novo material deste meio.

Embora os resultados dos ensaios apontem a escória de aciaria sendo um material que pode ser utilizado para a produção dos tijolos de solo-cimento, antes que esta possa ter este emprego definido é necessário realizar análises complementares sobre tal material, uma vez que, este trabalho limitou-se a analisar apenas a resistência à compressão e absorção de água de tijolos maciços com dimensões de

10cm de largura, 20cm de comprimento e 5 cm de altura. Não sendo avaliado neste trabalho quesitos de grande importância que um material de construção deve apresentar, como a variação de tamanhos e modelos de tijolos; sua viabilidade financeira para a produção do mesmo utilizando a escória de aciaria; além de não verificar o seu desempenho a longo tempo, ou seja, sua durabilidade.

Como proposta de trabalhos futuros relacionados a produção de tijolos de solo-cimento com adição de escória de aciaria, sugere-se a avaliação do desempenho de outro tamanho e modelos de tijolos, a análise de custos para a implantação deste material na produção dos tijolos de solo-cimento, além de avaliar o seu desempenho de durabilidade com o passar do tempo.

Outro fator que poderá ser analisado em novas pesquisas consiste na avaliação e posterior diminuição da quantidade de cimento utilizada no traço, uma vez que a escória conferiu grande acréscimo de resistência para os tijolos, poderá ser avaliado a possibilidade de diminuir o volume de cimento obtendo-se assim um material cada vez mais econômico.

Por fim pode-se concluir que para os materiais com as características específicas utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento utilizados neste trabalho, a escória apresentou-se como uma alternativa favorável para ser inserida como agregado na produção de tijolos ecológicos, uma vez que evita o descarte impróprio desse material gerando um produto ainda mais sustentável para a construção civil.

## REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.K. Tecnologias apropriadas: tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento. 115 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- AGUILAR, R.; REIS, G. **Tijolos Ecológicos Solo Cimento**. 2018. 17p. SAHARA TECNOLOGIA. Vila Moraes, SP, 2018. Disponível em: <<https://www.sahara.com.br/novo/informativos/tijolo-ecologico-solo-cimento.php>>. Acesso em: 14 setembro de 2019.
- Alcantara, M. A. M.; dos Santos, L. P.; de Lima, D. C.; da Silva Segantini, A. A.; Akasaki, J. L. (2011). **O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar na produção de tijolos de solo-cal**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.1, n.3, p. 1-11, 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.5216/reec.v3i1.15723>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019, 21:45:10.
- ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados**. 2007. 364f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2007.
- ANGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JOHN, Vanderley Moacyr. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. **Anais..** São Paulo: IBRACON, 2011.
- ARAÚJO, L. A. **Manual de siderurgia – produção**. São Paulo, Editora Arte & Ciência, 2001. V. 1, 470 p.
- ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna Construção Sustentável**. AEC Web, [S. l.], p. 1-4, 26 maio 2008. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel\\_589](https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589)>. Acesso em: 14 set. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo-SP, 1999. ABCP, ET-35, 51p. Disponível em: < [http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files\\_mf/ET-35\\_Solo\\_cimento\\_Normas\\_dosagem\\_metodos\\_ensaios.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/ET-35_Solo_cimento_Normas_dosagem_metodos_ensaios.pdf)>. Acesso em 15 de setembro de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p. (BT-111)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS (ABM). **Gestão de Coprodutos: estudo prospectivo do setor siderúrgico**. Brasília, 2008, 24 p. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. 28 p: il.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10832**. Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual- procedimento. Santa Catarina, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**. Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171**. Bloco cerâmico para alvenaria. São Paulo, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**. Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**. Tijolo Maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM46**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ATHAYDE JUNIOR, J. D. G. **Otimização da Injeção do Gás Inerte no Convertedor MRP-L**. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

BALTAZAR, R. P. **Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação.** 2001. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

BARBOSA, M. R. **Caracterização geoambiental das escórias de aciaria de cinco estados brasileiros.** 2013. 139 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2013.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S.I. **Introdução a Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo: Pearson, 2005. 332 p. Disponível em: <[https://pt.slideshare.net/hermasantos/introduco-engenharia-ambiental-benedito-braga?from\\_action=save](https://pt.slideshare.net/hermasantos/introduco-engenharia-ambiental-benedito-braga?from_action=save)>. Acesso em: 03 set. 2019.

BRITO, Filho. SEMINÁRIO "**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS**", 3., 2000, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: [s. n.], 2000. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ibracon/2000/CT206.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2019.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos.** 6. ed. Rio de Janeiro: JC, 2003. 244 p. v. 1. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>>. Acesso em: 29 de outubro de 2019.

CARDOSO, M. D. **Reciclagem de Escória de Forno Panela de Aciaria Elétrica em Material Cerâmico.** 2009. 179 folhas. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2009.

CARNEIRO, A. P.; COSTA, D. B.; NEVES, C. M. M.; **Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento.** CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção, Projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, n. 1, p. 228-260, 2001.

CARVALHO, A.; SANS, L. M. A.; DEMATTÊ, J. L. I. **Características físicas, químicas e mineralógicas de três solos em uma catena sob cerrado e sobre calcário, em Sete Lagoas, MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, A Sociedade, v. 3, p. 54-61, 1979.

CASTRO, A. L. de; PANDOLFELLI, V. C. **Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil.** 2009. 15 p. Dissertação (Departamento de Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de S. Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0366-69132009000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0366-69132009000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 29 outubro 2019.

CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS**, Brasília, 17 jul. 2002. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/36\\_09102008030504.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2019.

CORREA, Sonia Maria Barros Barbosa. **Probabilidade e Estatística**. 2. ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p. Disponível em: [http://estpoli.pbworks.com/f/livro\\_probabilidade\\_estatistica\\_2a\\_ed.pdf](http://estpoli.pbworks.com/f/livro_probabilidade_estatistica_2a_ed.pdf). Acesso em: 13 set. 2019.

DE PAULA, Vitor Vezzano. **Comportamento de tijolos de solo-cimento com adição de escória de alto-forno a esforços de compressão**. Orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Ramírez Gil. 2017. 59 p. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Materiais) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá-SP, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/156856/000904952.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 set. 2019.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: v.3, 274 p. 2006.

DNER – ME 081/98: **Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1998.

FALCÃO BAUER, L.A. **Materiais de Construção**. 5. ed. Guaratinguetá-SP: ABDR, 2017. 543 p. v. 2. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/juniorgestao/materiais-de-construo-volume-2-bauer-5-edio>>. Acesso em: 15 set. 2019.

FERNANDES, D. P. **Estudo de estabilização química, geomecânica e ambiental das escórias de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

FERREIRA, R. C.; FREIRE, W.J. **Desempenho físico-mecânico e propriedade termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 204 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2003.

FERREIRA, W. L. **ADIÇÃO DE RESÍDUOS DO SETOR MÍNERO-METALÚRGICO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CAL**. 2013. 79 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Minas) - UFOP, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4062/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Adi%C3%A7%C3%A3oRes%C3%ADduosSetor.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4062/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Adi%C3%A7%C3%A3oRes%C3%ADduosSetor.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2019.

FEUERHARMEL, Marcos R. **Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2000.

FIAIS, Bruna Barbosa; SOUZA, Danilo Sarto de. **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM TIJOLO ECOLÓGICO**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba-SP, p. 1-15, 2017. Disponível em: <<http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/download/2559/154>>. Acesso em: 17 set. 2019.

FREITAS, S.; CARIAS, M.; ASSIS, P.; MARTINS, M. E. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ESTOCAGEM NAS PROPRIEDADES DA ESCÓRIA DE ACIARIA LD**. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. 2017. p. 7

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2002. 176 p. Disponível em: <[http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2019.

GIL, A C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008. 220 p. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2019.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

GUERRA, Elaine Linhares de Assis. **Manual de pesquisa qualitativa**. Belo Horizonte: Centro Universitário UNA, 2014. 52 p. Disponível em: <<https://docente.ifsc.edu.br/luciane.oliveira/MaterialDidatico/P%C3%B3s%20Gest%C3%A3o%20Escolar/Legisla%C3%A7%C3%A3o%20e%20Pol%C3%ADticas%20P%C3%ABlicas/Manual%20de%20Pesquisa%20Qualitativa.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL – IABR, 2019. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/estatisticas.asp>>. Acesso em 17 de Setembro de 2019, 18:40:15.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA – IBS: **2º Relatório Técnico de Acompanhamento – Ensaios de Caracterização do Agregado Siderúrgico**. Rio de Janeiro, 2005.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduo de construção: contribuição para uma metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV\\_Vanderley\\_John\\_-\\_Reciclagem\\_Residuos\\_Construcao\\_Civil.pdf](http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf)>. Acesso em 15 setembro 2019.

KURESKI, Ricardo et al. **O macrossetor da construção civil na economia brasileira em 2004**. 2007. 19 p. Dissertação (Departamento de Economia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/277172905\\_O\\_macrossetor\\_da\\_Construcao\\_Civil\\_na\\_economia\\_brasileira\\_em\\_2004](https://www.researchgate.net/publication/277172905_O_macrossetor_da_Construcao_Civil_na_economia_brasileira_em_2004)>. Acesso em: 10 set. 2019.

LIMA, T. V. **Estabilização de solos argilosos para a produção de blocos ecológicos**. 2009. 12p. Doutorado em Departamento de Engenharia Mecânica e dos Materiais. IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n34/Pag\\_15-26.pdf](http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n34/Pag_15-26.pdf)>. Acesso em 15 de setembro de 2018.

MACHADO, A. T. **Estudo Comparativo dos Métodos de Ensaio para Avaliação da Expansibilidade da Escória de Aciaria**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2003. 310 p. Disponível em: [https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india](https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india). Acesso em: 23 set. 2019.

MICHAELIS, **Dicionário da língua Portuguesa**, v. 11, n. 04, 2011. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br>>. Acesso em 15 de Setembro de 2019, 20:25:30.

MIELI, Priscilla Henriques. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. Orientador: Célio Albano da Costa Neto. 2009. 59 p. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Materiais) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/8088/1/monopoli10003721.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2019.

MOREIRA, C. C. **Características e desempenho das escórias de alto forno como agregado para utilização em camadas granulares de pavimentos**. 37<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação/11<sup>o</sup> Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 37<sup>a</sup> RAPv/11<sup>o</sup> ENACOR, Goiânia, Brasil, 2006.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G. **Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte: E-xata, 2014. 13-26 p. Disponível em: <[http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a138.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a138.pdf)>. Acesso em 04 de setembro de 2019.

MOTTA, Rosângela dos Santos. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido na construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/publico/Dissert.mestrado\\_RosangelaMotta.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/publico/Dissert.mestrado_RosangelaMotta.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2019.

PAIVA, Paulo Antônio de. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos**. 2005. Dissertação (Bacharel em Ciências Contábeis) - USP, [S. l.], 2005. Disponível em: <<http://periodicos.unifacel.com.br/index.php/rea/article/view/185/37>>. Acesso em: 14 set. 2019.



PARENTE, E. B.; BOAVISTA, A. H.; SOARES, J. B. **Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza.** In: Anais do XVII Congresso de pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET-Associação Nacional de Pesquisa e ensino em Transportes. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará 2003. p. 8.

PECORIELLO, Luiz A.; BARROS, José Maria C. **Alvenaria de tijolos de solo cimento.** São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/87/artigo285631-1.aspx>>. Acesso em 16 de maio de 2019.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de Mecânica dos Solos.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 363 p. Disponível em: <[https://www.academia.edu/32384072/Mecanica\\_dos\\_Solos\\_Carlos\\_de\\_Souza\\_Pinto\\_Curso\\_Basico\\_](https://www.academia.edu/32384072/Mecanica_dos_Solos_Carlos_de_Souza_Pinto_Curso_Basico_)>. Acesso em: 16 set. 2019.

PISANI, Maria Augusta Justi. 2005. 17p. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: O Tijolo de Solo-Cimento.** Mestre e Doutora em Engenharia Urbana, EPUSP, USP. Disponível em: <[http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1\\_artigo\\_tijolos\\_solo\\_cimento.pdf](http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1_artigo_tijolos_solo_cimento.pdf)>. Acesso em 12 de setembro de 2019.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. 277 p. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos Fornos Elétricos a Arco.** 2006. 102p. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM (2006).

RODRIGUES, Klaus Henrique de Paula. **ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SOLOS UTILIZANDO REJEITO DE MINERAÇÃO.** Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes. 2018. 108 p. Dissertação (PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA) - UFOP, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <[https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/9879/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O\\_EstudoEstabiliza%c3%a7%c3%a3oGranulom%c3%a9trica.pdf](https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/9879/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_EstudoEstabiliza%c3%a7%c3%a3oGranulom%c3%a9trica.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2019.

Rodrigues, M. L. A. **Adição de resíduo de argamassas mistas na produção de tijolos modulares de solo-cimento.** 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2008.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCANTARA, M. A. M. Solocimento e solo-cal. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios da ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. v. 2, p. 834-861.

SOUZA, E. B. O. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação**. 2007. 111 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2007.

TEIXEIRA, L.P. **A indústria de construção brasileira sob a ótica da demanda efetiva**. Tese (Doutorado). 2009. Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa - MG, 2009. Disponível em: <

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/126/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso 03 setembro de 2019.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago.

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Caçador-SC, p. 1-17, 18 ago. 2018. Disponível em:

<<https://www.doccity.com/pt/solo-cimento-tijolo-construcao-ecologica/5078352/>>. Acesso em: 18 set. 2019.