

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ELAINE CRISTINA OLIVEIRA BATISTA SANTOS  
JULIANO MOURA CHAVES JÚNIOR**

**MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO  
USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ECOLÓGICOS.  
ESTUDO DE CASO: TIJOLOS ECOLÓGICOS COMPARADOS  
A TIJOLOS CERÂMICOS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**ELAINE CRISTINA OLIVEIRA BATISTA SANTOS  
JULIANO MOURA CHAVES JÚNIOR**

**MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO  
USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ECOLÓGICOS.  
ESTUDO DE CASO: TIJOLOS ECOLÓGICOS COMPARADOS  
A TIJOLOS CERÂMICOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: ISA LORENA SILVA BARBOSA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, ELAINE CRISTINA O. BATISTA / JÚNIOR, JULIANO MOURA CHAVES

Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção ecológicos. Estudo de caso: Tijolos Ecológicos comparados a tijolos cerâmicos.

77p, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel. Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| 1. Tijolo Ecológico  | 2. Solo-cimento    |
| 3. Impacto Ambiental | 4. Meio Ambiente   |
| I. ENC/UNI           | II. Título (Série) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, Elaine Cristina O. Batista; JÚNIOR, Juliano M. Chaves. Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção ecológicos. Estudo de caso: Tijolos Ecológicos comparados a Tijolos Cerâmicos. TCC. Curso de Engenharia Civil. UniEvangélica. Anápolis, GO, 77p, 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Elaine Cristina Oliveira Batista Santos

Juliano Moura Chaves Júnior

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção ecológicos. Estudo de caso: Tijolos Ecológicos comparados a Tijolos Cerâmicos.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Elaine Cristina O. B. Santos

Elaine Cristina Oliveira Batista Santos

E-mail: elainecristina014@hotmail.com

Juliano Moura Chaves Júnior

Juliano Moura Chaves Júnior


E-mail: julianojr01@outlook.com


**ELAINE CRISTINA OLIVEIRA BATISTA SANTOS  
JULIANO MOURA CHAVES JÚNIOR**


**MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO  
USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ECOLÓGICOS.  
ESTUDO DE CASO: TIJOLOS ECOLÓGICOS COMPARADOS  
A TIJOLOS CERÂMICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)

  
\_\_\_\_\_  
ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

  
\_\_\_\_\_  
LUCAS GABRIEL CORRÊIA VARGAS, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de NOVEMBRO de 2018.

## **RESUMO**

O tijolo solo-cimento, também denominado tijolo ecológico, surgiu no mercado da construção civil como alternativa sustentável, principalmente em relação aos tijolos cerâmicos convencionais. O presente estudo tem o objetivo de caracterizar o material, apresentando as possibilidades de mitigação de impactos ambientais através de sua utilização, além de aplicar testes com o intuito de verificar se o mesmo supre os mesmos requisitos que os blocos cerâmicos. Por se tratar de um material ecológico, é de extrema importância explicar a cerca de suas características, sobretudo, pelo preocupante papel da indústria da construção civil na degradação ambiental atual. Realizou-se no decorrer deste, o teste de resistência a compressão e índice de absorção de água, permitindo assim a determinação de características dos diferentes materiais: solo-cimento e cerâmico. Buscou-se identificar os possíveis benefícios ambientais acarretados pela utilização do material ecológico citado, como redução de resíduos sólidos, menor desmatamento, minoração da emissão de gases poluentes na atmosfera, menor consumo de energia e recursos naturais, entre outros.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Tijolo solo-cimento. Tijolo ecológico. Tijolo cerâmico. Sustentabilidade. Impactos Ambientais.

## **ABSTRACT**

Soil-cement brick, also called ecological brick, appeared in the construction market as a sustainable alternative, especially in relation to conventional ceramic bricks. The present study aims to characterize the material, presenting the possibilities of mitigating environmental impacts through its use, in addition to applying tests with the purpose of verifying that it meets the same requirements as the ceramic blocks. Because it is an ecological material, it is extremely important to explain its characteristics, above all, by the worrisome role of the construction industry in the current environmental degradation. The test of compressive strength and water absorption index was carried out, allowing the determination of characteristics of the different materials: soil-cement and ceramic. The aim was to identify the possible environmental benefits of using the ecological material mentioned, such as reduction of solid waste, less deforestation, reduction of the emission of polluting gases in the atmosphere, lower consumption of energy and natural resources, etc.

### **KEYWORDS:**

Single-cementbrick. Ecologicbrick. Ceramicbrick. Sustainability. Environmental impacts.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Detalhes dos furos com encaixe saliente, que fica em cima durante o assentamento, do tijolo solo-cimento com 6,25 x 12,5 x 25 cm..... | 24 |
| Figura 2– Assentamento de tijolos ecológicos .....   | 26 |
| Figura 3– Geração anual e per capita de RSU em 2014 .....  | 35 |
| Figura 4– Coleta de RSU no Brasil .....  | 35 |
| Figura 5 - Saibro utilizado na confecção dos tijolos ecológicos - Tijoleko .....   | 40 |
| Figura 6 - Equipe – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico .....  | 41 |
| Figura 7 - Misturador – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico .....  | 41 |
| Figura 8 - Peneira – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico .....   | 42 |
| Figura 9 - Esteira – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico .....   | 42 |
| Figura 10 - Prensa hidráulica – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico .....  | 43 |
| Figura 11 - Argila armazenada no empreendimento.....   | 45 |
| Figura 12 - Eucalipto utilizado pelo empreendimento.....   | 45 |
| Figura 13 - Caixa alimentador de argila.....   | 46 |
| Figura 14 - Esteira transportadora .....   | 46 |
| Figura 15 - Desintegrador utilizado pelo empreendimento.....   | 47 |
| Figura 16 - Misturador utilizado pelo empreendimento. ....   | 47 |
| Figura 17 - Maromba – máquina que prensa e molda. ....   | 48 |
| Figura 18- Maromba – máquina que prensa e molda. ....  | 48 |
| Figura 19 - Depósito de secagem com ventilador. ....   | 49 |
| Figura 20 - Método de secagem rápida.....  | 49 |
| Figura 21 - Forno utilizado na queima dos tijolos cerâmicos. ....  | 50 |
| Figura 22 - Assentamento dos tijolos durante execução de protótipo. ....   | 52 |
| Figura 23 - Assentamento dos tijolos durante execução de protótipo. ....   | 52 |
| Figura 24 - Execução do teste de corpo duro. ....  | 54 |
| Figura 25 - Resultado do teste de corpo duro.....  | 55 |
| Figura 26 - Detecção do deslocamento da parede. ....   | 57 |
| Figura 27 - Procedimento executivo do teste de impacto de corpo mole .....   | 57 |
| Figura 28 - Corpos de prova em estufa para secagem .....   | 62 |
| Figura 29 - Ensaio de resistência a compressão. ....   | 63 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – Características técnicas típicas de solos usados na fabricação de tijolo solo-cimento..... | 21 |
| Quadro 2 - Dimensão Nominal a ser atendida.....   | 58 |
| Quadro 3 - Dimensão dos corpos de prova utilizados no teste.....                                      | 58 |
| Quadro 4 - Massa saturada dos corpos de prova .....   | 59 |
| Quadro 5 - Valores de absorção de água.....   | 60 |
| Quadro 6 - Determinação da massa seca dos corpos de prova cerâmicos .....                             | 61 |
| Quadro 7 - Resultados obtidos pelo teste de absorção de água em tijolos cerâmicos. ....               | 61 |
| Quadro 8 - Resultados obtidos pelo teste de resistência a compressão em tijolos ecológicos. 63        |    |
| Quadro 9 - Resultados obtidos pelo teste de resistência a compressão em tijolos cerâmicos..           | 64 |



## LISTA DE TABELA

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Faixas aproximadas dos principais componentes de um amostra de cimento. ....  | 19 |
| Tabela 2 – Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento produzidos no Brasil.....        | 23 |
| Tabela 3 - Tipos de tijolos produzidos pela fábrica de tijolos cerâmicos analisada ..... | 44 |
| Tabela 4 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas .....                 | 53 |
| Tabela 5 - Resultados levantados após realização de teste de corpo duro. ....            | 54 |
| Tabela 6 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas. ....                 | 56 |
| Tabela 7 - Resultados do teste de impacto de corpo mole. ....                            | 58 |
| Tabela 8 - Identificação da massa seca dos corpos de prova .....                         | 59 |

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

|         |   |
|---------|---|
| ABCP    | Associação Brasileira Cimento Portland                                    |
| ABELPRE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                  |
| CBCS    | Conselho Brasileiro de Construção Sustentável                             |
| CONAMA  | Conselho Nacional do Meio Ambiente  |
| INPE    | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais                                 |
| IPEA    | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada                                  |
| MPF     | Ministério Público Federal  |
| NBR     | Norma Brasileira  |
| ONU     | Organização das Nações Unidas   |
| PVA     | Acetato de Polivinila   |
| RCC     | Resíduo de Construção Civil   |
| RSU     | Resíduos Sólidos Urbanos  |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>12</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....                                      | 14        |
| 1.2 OBJETIVOS.....   | 15        |
| <b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>                             | <b>15</b> |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>                      | <b>15</b> |
| 1.3 METODOLOGIA.....   | 16        |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                              | 16        |
| <b>2 TIJOLO ECOLÓGICO .....</b>                              | <b>18</b> |
| 2.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO.....                               | 18        |
| 2.2 FABRICAÇÃO .....   | 21        |
| 2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TIJOLO ECOLÓGICO .....       | 24        |
| <b>3 IMPACTOS AMBIENTAIS .....</b>                           | <b>28</b> |
| 3.1 DESMATAMENTO .....                                       | 30        |
| 3.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....                                | 31        |
| 3.3 CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS.....                        | 32        |
| 3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS .....                                   | 34        |
| 3.5 CONSUMO DE ENERGIA .....                                 | 37        |
| <b>4 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....</b>                     | <b>39</b> |
| 4.1 DADOS LEVANTADOS .....                                   | 39        |
| <b>4.1.1 Fábrica de tijolo ecológico.....</b>                | <b>39</b> |
| 4.1.1.1 Matéria-Prima .....                                  | 39        |
| 4.1.1.2 Equipamentos e Processo produtivo.....               | 40        |
| 4.1.1.2.1 Equipe .....                                       | 40        |
| 4.1.1.2.2 Misturador.....                                    | 41        |
| 4.1.1.2.3 Peneira .....                                      | 41        |
| 4.1.1.2.4 Esteira .....                                      | 42        |
| 4.1.1.2.5 Prensa hidráulica .....                            | 42        |
| 4.1.1.3 Resíduos gerados.....                                | 43        |
| 4.1.1.4 Consumo de energia .....                             | 43        |
| 4.1.1.5 Preço do Produto .....                               | 43        |
| 4.1.1.6 Público Alvo .....                                   | 44        |
| <b>4.1.2 Fábrica de tijolos cerâmicos convencionais.....</b> | <b>44</b> |
| 4.1.2.1 Matéria-Prima .....                                  | 44        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.2.2 Equipamentos e Processo produtivo.....  | 45        |
| 4.1.2.2.1 Caixão alimentador de argila .....  | 45        |
| 4.1.2.2.2 Esteira .....   | 46        |
| 4.1.2.2.3 Desintegrador .....   | 46        |
| 4.1.2.2.4 Misturador.....   | 47        |
| 4.1.2.2.5 Maromba .....   | 47        |
| 4.1.2.2.6 Cortadeira.....   | 48        |
| 4.1.2.2.7 Depósito para secagem .....   | 48        |
| 4.1.2.2.8 Forno.....  | 49        |
| 4.1.2.3 Resíduos gerados.....   | 50        |
| 4.1.2.4 Consumo de energia .....  | 50        |
| 4.1.2.5 Preço do produto .....  | 50        |
| 4.1.2.6 Público alvo .....  | 50        |
| 4.2 TESTES REALIZADOS .....   | 51        |
| <b>4.2.1 Teste de impacto corpo duro e corpo mole conforme Método NBR 15575 -4 (ABNT, 2013) .....</b>             | <b>51</b> |
| 4.2.1.1 Teste de impacto de corpo duro .....  | 53        |
| 4.2.1.2 Teste de impacto de corpo mole.....   | 56        |
| <b>4.2.2 Teste de absorção de água conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012) .....</b>               | <b>58</b> |
| <b>4.2.3 Determinação da resistência a compressão conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012).....</b> | <b>62</b> |
| <b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>68</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>69</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Caracteriza-se como material de construção ecológico, também conhecido como ecoproduto, aquele que produzido de forma artesanal ou industrializada, não remeta a relevantes malefícios ao meio ambiente.

O processo de desenvolvimento industrial e econômico assim como o constante crescimento populacional culminou hoje em uma alarmante situação ambiental no Brasil e no mundo. A escassez de recursos naturais é uma das implicações, uma vez que sua demanda cresce gradativamente em contrapartida com a sua oferta, além da emissão de gases poluentes, responsáveis por um intenso desgaste ambiental.

Assim como a supremacia das atividades industriais, a indústria da construção civil é incumbida por grande parte dos impactos negativos direcionados ao meio ambiente na contemporaneidade. Atribui-se à indústria da construção civil mais de 50% do consumo de recursos naturais, tratando-se este apenas do prelúdio dos danos ambientais ocasionados pela mesma. A fase de industrialização da matéria-prima, assim como o transporte e futura comercialização, acarreta em um significativo consumo de energia, desperdício de materiais, emissão de gases atmosféricos, geração de resíduos sólidos e demais agravantes, que tendem a se intensificar mediante o crescimento populacional gradativo e o conseqüente carecimento por edificações (CBCS, 2014).

Ressalta-se que, conforme Resolução CONAMA Nº 1, de 23 de janeiro de 1986, toda interferência ao meio ambiente, seja ela de caráter químico, físico ou biológico, advinda de ações antrópicas, que influencie a qualidade de vida e do ecossistema, denomina-se impacto ambiental.

Dentre os setores da indústria da construção civil que ocasionam impactos ao meio ambiente, exalta-se a fabricação de tijolos e blocos cerâmicos, sendo a construção civil no Brasil uma das maiores consumidoras de cerâmica vermelha. A extração de argila, matéria-prima utilizada na produção dos tijolos cerâmicos convencionais, é uma das responsáveis pela deterioração do subsolo e constante insurgência de áreas degradadas. Além disso, o tratamento térmico sofrido pela argila e demais aditivos utilizados no processo produtivo, causa uma acentuada emissão de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), gases estes que abundantemente liberados na atmosfera, cria danos ao meio ambiente.

As predominantes conseqüências suscitadas pela emissão atmosférica advinda da queima da argila são: destruição da camada de ozônio, ocasionando a incidência de raios

ultravioletas e assim oferecendo riscos à saúde humana, o aquecimento global, responsável pelo desequilíbrio climático do planeta e a chuva ácida, se tratando da solução de CO<sub>2</sub> na água, aumentando o nível de acidez e, portanto prejudicando todas as espécies vivas.

A incessante preocupação com a sustentabilidade e a grande participação da indústria da construção civil no impacto ambiental resultaram hoje, em um paulatino interesse por construções ecológicas, se tratando de um sistema construtivo que contempla as premências humanas, ao mesmo tempo em que não afeta negativamente o meio ambiente.

Mediante a situação apresentada, o tijolo ecológico, também conhecido como tijolo solo-cimento, surge como alternativa para mitigação de impactos ambientais acarretados pela construção civil. Formados através da prensagem do cimento, solo e água, os tijolos ecológicos representam uma menor ameaça ao meio ambiente, uma vez que consomem menos recursos naturais e não passam pelo processo de queima como os tijolos cerâmicos convencionais comumente usados para vedação, sendo assim não resultam em considerável poluição atmosférica, uma vez que a única emissão de gases provocada pela produção do material advém da fabricação de uma de suas matérias-primas, o cimento, se tratando de uma quantidade expressivamente menor que a gerada pela produção dos tijolos cerâmicos.

Devido à sua excessiva disponibilidade na natureza, torna-se viável a utilização de solo como material construtivo, sendo esta uma das principais vantagens da opção por tijolos ecológicos. Relata-se que desde o início dos tempos, vêm sendo feita a utilização do solo na construção civil, sendo constatada sua presença nos templos na Babilônia, na muralha da China e no Taos Pueblo no Novo México, tratando-se todas de construções milenares e com relevante significância histórica (LIMA, 2010).

Ademais, visto que a porcentagem de solo utilizada na produção dos tijolos ecológicos é maior do que a de cimento e água, sendo ele a principal matéria-prima do material construtivo em questão, ressalta-se o baixo custo e a possibilidade de uso do solo da própria construção (OLIVEIRA, 2014).

Salientam-se as normas técnicas disponíveis no catálogo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), referentes à fabricação, ensaios e características do tijolo solo-cimento:

- NBR 8491 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo-cimento – Requisitos;
- NBR 8492 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de Ensaio;

- NBR 10833 (ABNT, 2012) – Versão corrigida: 2013 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento;
- NBR 12023 (ABNT, 2012) -Solo-cimento – Ensaio de compactação;
- NBR12024 (ABNT, 2012) - Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos – Procedimento;
- NBR 16096 (ABNT, 2012) – Solo-cimento – Determinação do grau de pulverização – Método de ensaio;
- NBR 12025 (ABNT, 2012) – Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio;
- NBR 12253 (ABNT, 2012) – Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento – Procedimento;
- NBR 11798 (ABNT, 2012) – Materiais para base de solo-cimento – Requisitos.

Estudar e compreender esta tecnologia torna-se conveniente para os profissionais da construção civil, uma vez que novas soluções construtivas, utilização viável de novos métodos, reciclagem de resíduos, escassez de moradias, racionalização de materiais, diminuição de desperdícios, sustentabilidade, e etc., são grandes obstáculos para o setor.

Mediante a problemática ambiental abordada, o presente projeto visa apresentar as diferentes maneiras em que o tijolo ecológico pode contribuir com a sustentabilidade na construção civil.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de materiais de construção ecológicos surge como uma alternativa atenuante à situação ecológica vivenciada na sociedade atual. Visto a constante degradação ambiental por parte da construção civil, seja ela através da disposição final inadequada de RCC, pelo impactante consumo de recursos naturais ou pela poluição atmosférica, é importante procurar medidas para minorar o crescente desgaste ambiental, sejam elas: o uso de novas tecnologias, a diminuição de resíduos gerados, o desperdício de material, a reciclagem na construção civil ou a utilização de materiais construtivos ecológicos.

Ressalta-se que a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), Edificações Habitacionais – Desempenho, estabelece que toda e qualquer edificação deve ser projetada, construída e mantida de forma que não venha a agredir o meio ambiente.

Conforme previamente explanado, o tijolo solo-cimento resulta da prensagem de solo, cimento e água, sendo a proporção de solo superior à dos demais materiais. Sendo assim, o uso do material para vedação, em se tratando de uma análise ambiental, é preferencialmente recomendada do que a de tijolos cerâmicos convencionais, uma vez que ambos terão a mesma função, todavia a produção de tijolos ecológicos não resultará em impactos preocupantes ao meio ambiente.

Mediante as inúmeras vantagens existentes na utilização de tijolos solo-cimento, em especial no âmbito ambiental, torna-se imprescindível o estudo de suas características, aplicações, comparações e afins, visando o intuito de propagar sua maior utilização nas construções atuais.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O presente projeto tem como objetivo o estudo das características dos tijolos ecológicos, submetendo-os à análises e comparações com tijolos cerâmicos, com o fim de comprovar os benefícios ambientais advindos de seu emprego.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Ressaltar os benefícios da utilização do tijolo solo-cimento;
- Explanar sobre o processo produtivo do tijolo ecológico;
- Comparar os impactos ocasionados pela utilização do mesmo, e de tijolos cerâmicos convencionais;
- Comparar as características dos tijolos ecológicos e cerâmicos, através de testes laboratoriais;
- Apontar medidas que visem propagar o uso de materiais ecológicos na construção civil.



### 1.3 METODOLOGIA

Seguiu-se um plano de estudo iniciado a partir de revisão bibliográfica. Buscou-se embasamento teórico em artigos, teses, dissertações, livros, normas e leis, a fim de obter-se conhecimento técnico acerca do tema abordado.

Posteriormente coletou-se dados com as empresas/fábricas abordadas no presente estudo, em especial a Tijoleko Indústria e Comércio de Artefatos de Solo-Cimento Ltda, empresa fabricante dos tijolos ecológicos adotados como estudo de caso desta pesquisa, sociedade empresária limitada, com devido Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica sob número 13.565.525/0001-16.

Houve o acompanhamento do processo produtivo do tijolo solo-cimento, e subsequente realização de testes e análises que comprovassem a viabilidade e benefício no uso do material construtivo em questão.

Próximo à coleta de dados, foi realizada a análise e discussão dos resultados, alcançando o objetivo do presente estudo: comprovar que o uso de materiais de construção civil ecológicos, em especial o tijolo solo-cimento, é uma possibilidade de mitigação de impactos ambientais, em especial quando comparados a tijolos cerâmicos.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se estruturado em 6 (seis) capítulos que juntos contemplam a problemática inicialmente abordada pelo estudo, as análises acerca do tema e as medidas a serem adotadas em busca da resolução. Os assuntos, aos quais se referem cada capítulo, encontram-se explanados a seguir:

O capítulo 1 introduziu o conteúdo a ser abordado na pesquisa, além de identificar os objetivos (geral e específicos) e a justificativa da realização do estudo em questão.

O capítulo 2 visou caracterizar o material de construção ecológico, objeto da pesquisa: o tijolo ecológico. Foram abordados a definição e histórico do material, o processo produtivo e as vantagens e desvantagens de sua utilização.

O capítulo 3 aborda os impactos ambientais que podem ser mitigados através da escolha do material, principalmente quando comparado aos tijolos cerâmicos convencionais. Foi retratada a atuação do material na minoração de desmatamentos, poluição atmosférica, consumo de recursos naturais, geração de resíduos sólidos e consumo de energia, assim como os demais efeitos positivos desta mitigação.

O capítulo 4 identifica as características da pesquisa, retratando os dados levantados durante as visitas técnicas, e os testes realizados com tijolos cerâmicos e ecológicos, com fins comparativos.

O capítulo 5 analisa e discorre a cerca dos resultados encontrados, demonstrando os benefícios comprovados através das visitas e testes.

O capítulo 6, por fim, traz as considerações finais e aponta as possibilidades para propagação do uso do material abordado, visando alcançar a mitigação de impactos ambientais permitida pelo emprego do mesmo.

## 2 TIJOLO ECOLÓGICO

### 2.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO

Devido à sua grande disponibilidade, desde o início dos tempos, o solo tem sido constantemente utilizado para proteção contra os fenômenos da natureza, por meio da construção de receptáculos (LIMA, 2010).

No Brasil, um uso comum do solo na construção civil é a taipa, sendo facilmente identificada nas cidades de Ouro Preto, Diamantina e Paraty (LIMA, 2010). Relata-se que os primeiros indícios de uso de solo como material construtivo no Brasil surgiram através da influência dos portugueses (SOUZA, 2006).

Constatou-se a existência de diversas edificações construídas a base de solo, fundações e estruturas, que resistiram a inúmeras hostilidades ao decorrer dos anos e mantiveram sua estabilidade (GRANDE, 2003).

O adobe, os blocos prensados e a taipa de pilão são os principais materiais advindos do solo utilizados na construção civil, entretanto, foram gradativamente substituídos pelos tijolos cerâmicos comuns, que são altamente poluentes ao meio ambiente. Para que estes materiais tenham condição de se comparar com os convencionais é preciso que o solo seja estabilizado, podendo este procedimento ser realizado pela incorporação de cimento e/ou cal, como é feito na confecção do tijolo solo-cimento (PINTO, 2015).

O solo como material construtivo foi popularmente utilizado até 1845, quando então perdeu lugar para o Cimento Portland (LIMA, 2010).

Denomina-se como Cimento Portland, um material construtivo em pó, que em contato com a água enrijece, e não mais desagrega, nem mesmo em novo contato com a água. Incorporado com água e outros materiais de construção, considerados agregados, forma os concretos e argamassas, constantemente utilizados na construção civil (ABCP, 2002).

Criado por Joseph Aspdin, em 1824, o Cimento Portland recebeu esse nome por possuir características semelhantes à pedra de Portland, uma ilha localizada no sul da Inglaterra (ABCP, 2002).

Cada um dos cimentos Portland existentes hoje no mercado da construção civil, podem ser utilizados para usos específicos, pois suas características determinam a resistência e a durabilidade do concreto ou argamassa que advém dele. O material é composto principalmente por clínquer e aditivos, sendo esses últimos os determinantes do tipo do cimento (ABCP, 2002).

As matérias-primas dos cimentos Portland podem ser argila e calcário (formação do clínquer) e gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos (aditivos) (ABCP, 2002).

De acordo com Mieli, (2009), o clínquer se origina da combinação de argilas e calcário, e minério de ferro, sendo este último em menor porção e sujeito a um procedimento denominado de clínquerização. Uma vez transformado em pó, o clínquer tem sua própria constituição química, e atributos físicos de cimento. Podendo ser verificado substancialmente uma abundância de compostos anidros, destes salientam-se:

- Silicato tricálcico, ou alita  $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ ;
- Silicato dicálcico, ou belita  $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ ;
- Aluminato tricálcico  $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- Ferroaluminotetracálcico, ou ferrita  $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;

Foi também verificada por Mieli, (2009), a proporção dos elementos componentes de uma amostra de cimento, conforme tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Faixas aproximadas dos principais componentes de um amostra de cimento.

| COMPONENTE               | FÓRMULA QUÍMICA  | FÓRMULA USUAL         | PROPORÇÃO (%) |
|--------------------------|--|-----------------------|---------------|
| Silicato tricálcico      | $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$                               | $\text{C}_3\text{S}$  | 45 a 75       |
| Silicato dicálcico       | $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$                               | $\text{C}_2\text{S}$  | 7 a 35        |
| Aluminato tricálcico     | $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$                      | $\text{C}_3\text{A}$  | 0 a 13        |
| Ferroaluminotetracálcico | $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{C}_4\text{AF}$ | 1 a 18        |

Fonte: MIELI (2009)

Conforme Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), os tipos de cimento Portland disponíveis no mercado atual são:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Portland pozolânico;
- Cimento Portland de alta resistência inicial;
- Cimento Portland resistente aos sulfatos;
- Cimento Portland branco;
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- Cimento para poços petrolíferos

Segundo ABCP (2009), o solo-cimento consiste em uma mistura de solo, cimento e água, em proporções distintas, gerando um composto com boa resistência a compressão, elevada impermeabilidade, baixa retração volumétrica e considerável durabilidade.

Ressalta-se que os solos mais recomendados para sua composição são aqueles que contam com 45% a 50% de areia em sua formação, entretanto todos os solos podem ser utilizados, exceto aqueles compostos por matéria orgânica (ABCP, 2009).

No Brasil, a introdução do uso de solo-cimento ocorreu em 1946 com a pavimentação do aeroporto de Petrolina-PE, todavia, já haviam sido realizadas pesquisas acerca do assunto, desde 1936, pela ABCP. Sua utilização em habitações aconteceu em 1948, na edificação de duas residências em Petrópolis-RJ, a partir de experiências realizadas pela ABCP e teve sua utilização consolidada devido à constatação do bom estado de conservação das construções ao passar dos anos (SOUZA, 2006).

As principais aplicações do solo-cimento na construção civil são: pavimentação e construção de habitações; podendo atuar através da fabricação de tijolos, e obras de contenção. A viabilidade de seu uso consiste principalmente no baixo custo financeiro de sua matéria-prima principal e na não exigência de mão-de-obra qualificada (SOARES, 2006).

O tijolo solo-cimento trata-se de um material de construção advindo da prensagem, seja ela manual ou hidráulica, do solo-cimento. Popularizou-se no Brasil após o incentivo do Banco Nacional de Habitações – BNH, que em 1978 autorizou o uso do material na construção de habitações populares, logo depois de estudos comprovarem a qualidade e as vantagens do uso do material (MIELI, 2009).

Denomina-se este material como “ecológico” devido a não necessidade de queima, uma vez que o material é prensado, ao processo de cura, que é realizado exclusivamente com água, evaporando e retornando à atmosfera de forma limpa e a existência de furos na estrutura da peça, que dispensam o uso de eletrodutos ou quebras na alvenaria para instalações elétricas e hidráulicas da edificação (BARBOSA, 2018).

A aplicação de solo-cimento na fabricação dos tijolos denominados ecológicos justifica-se devido ao benefício de se não utilizar de queima no processo produtivo, economizar tempo e materiais para assentamento e reduzir desperdícios, diferente dos tijolos cerâmicos convencionais (PIRES, 2004).

## 2.2 FABRICAÇÃO

Segundo NBR 8491 (ABNT, 2012), tijolo solo-cimento trata-se de uma mistura uniforme e compactada de água, solo e cimento Portland. O mesmo é produzido a partir da prensagem dos materiais, prescindindo o processo de queima pelo qual passam os tijolos cerâmicos convencionais (SOUZA, 2006).

O tijolo deve possuir três dimensões (altura, largura e comprimento), sendo o comprimento a maior e a largura a menor, assumindo assim a forma prismática de um retângulo (NBR 8491 (ABNT, 2012)).

Os tijolos solo-cimento atendem aos mesmos requisitos que os tijolos cerâmicos convencionais, entretanto apresentam uma composição e um processo produtivo distinto do que este material (BARBOSA, 2018).

O fluxograma do processo produtivo baseia-se na gradação e peneiração do solo, seguido da incorporação do cimento e da água, a prensagem dos materiais, podendo ser manual ou hidráulica e por fim a cura do material nos sete primeiros dias que seguem a sua fabricação (SOUZA, 2006).

O solo a ser utilizado na produção de solo-cimento deve ser de fácil desagregação e manter uma proporção em sua granulometria. Não são aconselháveis a adoção de solos predominantemente argilosos ou siltosos, uma vez que mesmo que a argila apresente propriedades aglomerantes, a mesma pode ter sua resistência comprometida por meio do processo de retração, que conseqüentemente ocasiona fissuras, trincas e/ou rachaduras. Aconselha-se que o solo a ser empregado na fabricação, possua um índice superior a 60% de areia. (SILVA, 2015).

De acordo com Pires (2004), o solo a ser utilizado deve apresentar as seguintes características, expostas no quadro 1, abaixo:

Quadro 1 – Características técnicas típicas de solos usados na fabricação de tijolo solo-cimento

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Passando na peneira 4,8 mm (n.º4)     | 100%                 |
| Passando na peneira 0,075 mm (n.º200) | 10-50%               |
| Limite de liquidez                    | Menor ou igual a 45% |
| Índice de plasticidade                | Menor ou igual a 18% |

Fonte: Pires (2004)

Conforme NBR 10833 (ABNT, 2012), que dispõe sobre a fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento, o

cimento a ser utilizado deve atender a sua respectiva norma técnica. Segue abaixo as normas técnicas correspondentes às opções de cimento:

- NBR 5732 (ABNT, 1991) – Cimento Portland Comum;
- NBR 5733 (ABNT, 1991) – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;
- NBR 5735 (ABNT, 1991) – Cimento Portland de Alto-forno;
- NBR 5736 (ABNT, 1991) – Cimento Portland Pozolânico;
- NBR 11578 (ABNT, 1991) – Cimento Portland Composto.

Em se tratando da água, indica-se o uso de água potável, livre de contaminação. Caso a mesma seja proveniente de poços subterrâneos, aconselha-se a realização de análises prévias, com o intuito de não comprometer a mistura final (PIRES, 2004).

O solo e o cimento são misturados de forma similar a produção de argamassa, até obter-se uma mistura homogênea. A água é adicionada conforme necessidade, visando o alcance da umidade padrão (PIRES, 2004).

A cura é realizada nos sete primeiros dias após a prensagem do solo-cimento nos moldes. Para transporte e armazenamento são recomendados o uso de pallets. O uso do material deverá ocorrer apenas após decorridos 14 dias de sua fabricação (NBR 10833 (ABNT,2012)).

A fim de um resultado satisfatório é aconselhável cobrir os materiais com lona após a inserção da água, com o intuito de evitar perdas do componente e conseqüente interferência na resistência do material (proveniente de uma cura má realizada) (BETSUYAKU, 2015).

Além dos principais componentes do material construtivo, estuda-se a possibilidade da adição de diversas outras matérias-primas, como: RCC, borracha, vidro, cal e etc., visando assim um melhor desempenho do material e uma maior mitigação de impactos ambientais. O traço dos insumos é definido em massa e deve gerar um material qualificado, após o período de cura (LIMA, 2010).

Entretanto a incorporação dos aditivos citados apenas poderá acontecer, quando não ocorrer a alteração dos requisitos físicos e mecânicos explanados nas Normas Técnicas 8491 e 10834 (NBR 10833 (ABNT, 2012)).

Diversos condicionantes determinam o modelo e as dimensões do tijolo ecológico a ser adotado (PISANI, 2005). A tabela 2 abaixo mostra alguns modelos disponíveis no mercado brasileiro atual:

Tabela 2– Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento produzidos no Brasil

| <b>Tipos</b>                      | <b>Dimensões</b>                                | <b>Características</b>   |
|-----------------------------------|---|--|
| Maciço comum                      | 5x10x20 cm<br>5x10x21 cm                        | Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns   |
| Maciço com encaixes               | 5x10x21 cm<br>5x11x23 cm                        | Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa   |
| ½ tijolo com encaixes             | 5x10x10,5 cm<br>5x11x11,5 cm                    | Elemento produzido para que não haja quebras na formação dos aparelhos com juntas desencontradas                             |
| Tijolos com dois furos e encaixes | 5x10x20 cm<br>6,25x12,5x12,5 cm<br>7,5x15x30 cm | Assentamento a seco, com cola branca ou branca ou argamassa bem plásticas. Tubulações passam pelos furos verticais.          |
| ½ tijolo com furo e encaixe       | 5x10x10 cm<br>6,25x12,5x12,5 cm<br>7,5x15x15 cm | Elemento produzido para acertar os aparelhos, sem a necessidade de quebras.  |
| Canaletas – vide foto 1           | 5x10x20 cm<br>6,25x12,5x25 cm<br>7,5x15x30 cm   | Elemento empregado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais. |

Fonte:PISANI (2005).

Segundo Pisani(2005), os tijolos denominados ecológicos podem ser inteiros, como os blocos convencionais, ou possuir furos, que quando adotados, são com os seguintes intuitos:

- Facilidade de encaixe e assentamento, reduzindo assim o tempo de execução e a quantidade de material empregado (argamassa ou cola);
- Reduzir de forma direta o dimensionamento de estruturas, como da fundação, a partir da redução do peso da alvenaria;
- Contribuir com o isolamento térmico e acústico.

Segue abaixo figura 1, ilustrando o material com furos:



Figura 1 – Detalhes dos furos com encaixe saliente, que fica em cima durante o assentamento, do tijolo solo-cimento com 6,25 x 12,5 x 25 cm



Fonte: PISANI, 2005.

### 2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TIJOLO ECOLÓGICO

A produção de tijolos à base de solo surge como medida mitigadora para o alto consumo diário de recursos naturais, atribuído à indústria da construção civil. A tecnologia em questão baseia-se na mistura de solo, cimento e água, compactada e curada sem o processo de queima (MOTTA, 2014).

O solo cimento caracteriza-se como um material alternativo sustentável e econômico, se tratando de uma técnica antiga na construção civil. Buscam-se na atualidade técnicas eficazes para que seja realizado um melhor aproveitamento deste material, uma vez que ele representa uma alternativa barata para a construção de alvenarias, além do seu cunho sustentável (OLIVEIRA, 2011).

Obtém-se a partir da opção por este material: a minoração dos custos, do consumo de energia, água, e poluição, uma melhor imagem institucional, o crescimento da produtividade, e um melhor atendimento aos parâmetros ambientais (MOTTA, 2014).

São diversas as vantagens do uso do tijolo solo cimento, entre elas: pode ser utilizado o solo típico do local da obra, podendo economizar no transporte; para aplicação de argamassa pode-se usar uma espessura infinitesimal de assentamento devido à invariabilidade de suas superfícies; quando longe de ação retilínea da água não é necessário o seu

revestimento; isenta a queima; na maior parte da sua fabricação não utiliza trabalhadores peritos (FUNTAC, 1999).

O material em questão também se caracteriza como alternativa para construção de habitações populares, uma vez que se utiliza de materiais naturais e se trata de um material de encaixe, prescindindo grandes pilares na estrutura (MOTTA, 2014). Uma vez que facilita o acesso a este tipo de habitação, a aplicação do tijolo ecológico propicia o avanço financeiro da sociedade, se tornando assim um método de cunho econômico, social e ecológico e se fazendo crucial ao desenvolvimento sustentável no setor da Engenharia Civil (CORDEIRO, 2017).

A utilização do material, se tratando do meio social, coopera com a resolução dos problemas relacionados a déficit habitacional, com a geração de renda e com a propagação de uma visão ecológica, como resultado, permite um melhor futuro para as próximas gerações (CORDEIRO, 2017).

O custo inicial da utilização do tijolo ecológico é superior ao do tijolo cerâmico convencional, popularmente utilizado, devido ao custo unitário do material, contudo, a adoção do material pode permitir um decréscimo de até 40% do valor da obra acabada, através da aplicação da técnica correta (SAMPAIO, 2015).

O principal insumo utilizado na produção dos tijolos ecológicos é o solo, material que pode ser encontrado em grandes quantidades na natureza, entretanto sua utilização também pode representar uma desvantagem, uma vez que a extração inadequada do solo pode vir a causar processos erosivos. Outra desvantagem da escolha desse material é a possível aparição de patologias na construção, caso a dosagem venha a ser incorreta (MOTTA, 2014).

Em sua fabricação não é necessária a queima de materiais, evitando assim a emissão de gases poluentes na atmosfera. Além disso, seu processo produtivo é passível de ser realizado manualmente, o que permite a abrangência de uma população carente de recursos (MOTTA, 2014).

Devido a não necessidade de queima em seu processo de fabricação, o tijolo ecológico permite uma redução do consumo de energia, especialmente quando a compactação é feita manualmente. Ressalta-se também a durabilidade das construções de solo-cimento ao longo dos tempos, resistindo ao desgaste e a umidade, devido à alta resistência e impermeabilidade do material em questão (TEIXEIRA, 2012).

Além de não precisar de profissionais especializados para o assentamento do material, o procedimento é ágil e fácil. O material possui encaixes perfeitos, permitindo a utilização apenas de uma cola, e evitando assim o desperdício de materiais (FRAGA, 2015), como pode ser observado na figura 2, a seguir:

Figura 2– Assentamento de tijolos ecológicos



Fonte: <http://hidroshow.blogspot.com.br>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

A cola a ser utilizada é formada à base de PVA e visa promover uma obra mais limpa, ágil e econômica, além de permitir maior aderência no processo de assentamento (SILVA, 2015).

Visto que o material apresenta características diferentes de tijolos cerâmicos convencionais, seu assentamento e revestimento deve ser executado com certa cautela, uma vez que o solo-cimento possui variação dimensional e diferentes índices de absorção de água (VALENCIANO, 1999).

Provoca maior conforto e valorização do imóvel em qual foi empregado, uma vez que os dutos formados durante o assentamento permitem conforto térmico e funcionam como isolante acústico. Além disso, os mesmos dutos podem ser utilizados como condutores para rede elétrica e hidráulica, evitando assim a quebra de paredes (FRAGA, 2015).

Segundo Fraga (2015), a utilização do material gera paredes lisas e perfeitamente alinhadas, o que permite uma vasta opção de acabamentos, sendo todas elas mais viáveis economicamente. São algumas das opções:

- Rejunte e Impermeabilização;
- Rejunte e Pintura/Textura
- Revestimento cerâmico;
- Emboço/Reboco;

A utilização de tijolos ecológicos permite também, um canteiro de obras sistematizado, promovendo assim a mitigação de desperdícios e uma menor quantidade de resíduos de construção civil (RCC) produzidos (LIMA, 2010).

Segundo Silva (2005), a escolha por tijolos ecológicos pode resultar em um ambiente mais higienizado, uma vez que a alvenaria, formada por eles, não permite a instalação e proliferação de insetos. Também ressalta a durabilidade e baixa necessidade de manutenção das construções a base deste material e a dispensa de revestimentos como, chapisco, emboço e reboco, visto o acabamento liso e a perfeição das faces das peças.

A vasta variedade de solos disponíveis na natureza pode apresentar uma desvantagem na escolha do material, uma vez que é necessária a execução de testes anteriores ao emprego na produção, a fim de caracterizá-los. Todavia, os ensaios são: granulometria, compactação e compressão simples, tratando-se todos de testes simplórios (SILVA, 2005).

Apesar da grande quantidade de vantagens apresentada pela utilização dos tijolos solo-cimento, a maior desvantagem é a falta de conhecimento técnico, tanto por parte dos consumidores, como de alguns profissionais da construção civil. Erroneamente, grande parte acredita que o material não possui o mesmo desempenho que os tijolos cerâmicos convencionais e acabam optando por não os utilizar (FRAGA, 2015).

### 3 IMPACTOS AMBIENTAIS

Desde o início dos tempos o ser humano utiliza-se de recursos naturais, sendo primeiramente com o intuito de sobrevivência e com o passar dos tempos em prol econômico. A demanda por eles cresce proporcionalmente ao desenvolvimento da humanidade, em consequência gera impactos ambientais negativos (CECCONELLO, 2009).

Conforme Cecconello (2009), o meio ambiente é substancial à vida, portanto é preciso protegê-lo. Tanto a sua proteção, quanto sua recuperação e preservação são ônus do Estado e da população.

De acordo com a Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, o SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) é responsável pelo cuidado com meio ambiente no território brasileiro, sendo o mesmo composto pelos seguintes órgãos e entidades:

- Conselho de Governo;
- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA;
- Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República;
- Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade;
- Órgãos estaduais responsáveis por programas, controle e fiscalização de atividades passíveis de agressões ao meio ambiente;
- Órgãos municipais responsáveis pela fiscalização e controle de atividades passíveis de agressões ao meio ambiente;

Caracterizam-se como principais influenciadores de impactos ambientais: a industrialização, concentração espacial, modernização agrícola, crescimento populacional e a urbanização (IPEA, 2010).

Definiu-se através do Relatório Brundtland (1987), popularmente denominado “Nosso Futuro Comum”, relatório elaborado durante o processo preparatório da ECO-92 - Conferência da ONU acerca do Meio Ambiente e Desenvolvimento, que desenvolvimento sustentável trata-se do ato de suprir as carências humanas atuais, sem interferir na possibilidade de que a posteridade faça o mesmo.

Thomas Robert Malthus, economista do século XVIII, foi pioneiro a relatar que a finitude dos recursos naturais poderia vir a ser um empecilho ao desenvolvimento, se

tornando imprescindível a busca por alternativas, como o desenvolvimento sustentável (IPEA, 2010).

Por mais que o conhecimento acerca da carência de recursos naturais tenha se intensificado na atualidade, ainda não existe uma propagação eficaz de diretrizes para um desenvolvimento sustentável, assim como a correta conscientização de sua devida relevância (MOTTA, 2009).

O setor industrial é responsável por contribuir com a contaminação dos recursos hídricos, minorar a qualidade do solo e fomentar o aquecimento global, além de ser produtora de relevante poluição atmosférica e conseqüentemente colaborar com a incidência de doenças respiratórias (CORDEIRO, 2017).

Assim como as demais ações humanas, a construção civil impacta o meio ambiente, o meio social e o meio econômico. As construções podem ser responsáveis por impactos significantes, tendo sua intensidade definida através do porte, localização, função e demais características da obra (SPADOTTO, 2011).

A preocupação com o meio ambiente cresce gradativamente ao crescimento do mercado da construção civil, sendo um dos principais fatores, a quantidade de resíduos advindos da atividade, que tem sido alarmante, se tratando de cerca de cinco vezes mais que a de produtos (YEMAL, 2011).

Classificam-se as construções como um dos principais agentes de degradação ambiental, fato esse que se deve ao relevante consumo de energia pela indústria da construção civil, uso constante de recursos naturais, poluição atmosférica, entre outros. Mediante as informações apresentadas, torna-se viável a busca por soluções que mitiguem os impactos gerados pela atividade, em qualquer uma de suas fases (FERREIRA, 2008).

Embora sejam perceptíveis as influências negativas que a construção civil possa vir a ter sobre o meio ambiente, algumas medidas podem ser tomadas visando à atenuação das mesmas, como a adoção de materiais ecologicamente corretos, se tratando esta, de uma das novas tecnologias concebidas com este intuito (SPADOTTO, 2011).

Obtêm-se maior sucesso na restrição dos efeitos ambientais negativos, na fase de projeto e durante a escolha dos materiais construtivos, entretanto a prática também é possível nas demais fases da construção (MÜLFARTH, 2002).

Aspiram-se construções que contribuam com a redução do consumo de materiais, energia e recursos naturais, e simultaneamente ofereçam conforto em sua utilização, seja ela qual for. Uma grande contribuição ao objetivo é a correta escolha dos materiais de construção a serem empregados (OLIVEIRA, 2015).

Uma das alternativas a ser adotada é o uso de tijolos ecológicos, uma vez que o mesmo apresenta o mesmo desempenho que tijolos cerâmicos, e ainda evita a emissão de gases poluentes e o desmatamento. (BARBOSA, 2018).

Segundo Fiais (2017), os tijolos ecológicos recebem essa nomenclatura por dispensarem o processo de queima, e conseqüentemente diminuir o desmatamento e a poluição atmosférica. Visto isso possibilita a preservação de áreas verdes e o racionamento de recursos naturais (SANTANA, 2013). Além disso, sua utilização reduz a quantidade de RCC gerada pela obra (OLIVEIRA, 2014).

Por não necessitar de queima em sua fabricação, o tijolo solo-cimento consome ainda uma menor quantidade de energia (SILVA, 2015). Além de não precisar passar pelo processo de cozimento, evitando assim um grande consumo de madeira, as perdas de solo-cimento podem ser reutilizadas, diferentemente da argila cozida na produção de tijolos convencionais (SOUSA, 2006).

Além da redução da geração de CO<sub>2</sub> (poluição atmosférica), o uso de tijolos solo-cimento pode também ocasionar a redução do consumo de recursos naturais, como a argila e a madeira, matéria prima e material utilizado no cozimento dos tijolos cerâmicos, respectivamente (MORAIS, 2014).

### 3.1 DESMATAMENTO

A devastação das florestas mundiais é decorrente de queimadas, extração comercial, agropecuária e até mesmo incidentes naturais. Desde os primórdios o homem usufrui do desmatamento, seja como fonte energética, viabilização de áreas para agricultura ou para construções (ARRAES, 2012).

Proveniente do crescimento produtivo, econômico e populacional, o desmatamento trata-se de uma prática mundial (MPF, 2015). Podendo ser nativa ou proveniente de reflorestamento, a lenha trata-se de um antigo e importante energético no Brasil, sendo a mesma formada por celulose, hemicelulose e lignina (MACHADO, 2010).

Com a ação antrópica, elementos naturais passaram a ser elementos da criação humana, como a construção de edificações a partir da extração de árvores. Não se discute a relevância de mudanças para o desenvolvimento da sociedade, entretanto o homem deve compreender que os recursos naturais devem atender a demanda de todos (NETO, 2011).

Conforme Fearnside (2005) são classificados como impactos gerados pelo desmatamento:

- Erosão e compactação do solo, interferindo na qualidade do mesmo, e conseqüentemente na produção agrícola.
- Alterações na hidrologia, uma vez que as precipitações em áreas desmatadas são drenadas com maior agilidade, formando as cheias e as posteriores reduções e interrupções dos fluxos dos corpos hídricos;
- Perda de biodiversidade;
- Emissão de gases de efeito estufas, interferindo no aquecimento global;

O processo de desmatamento interfere de forma direta na ciclagem da água, minorando a evapotranspiração das águas. O balanço hídrico da Amazônia retrata que 50% das águas pluviais retornam para atmosfera, enquanto apenas 45% delas escoam pelos rios. A atividade também é apontada como uma das principais responsáveis pela mudança climática na região, apontando um aumento entre 5°C e 7°C, interferindo na temperatura do continente como um todo (SANTOS, 2017).

A produção de cerâmica vermelha é responsável por desmatamento irracional visando apenas à extração de lenha, e em conjunto com a falta de recuperação das espécies (reflorestamento), é responsável pela desertificação de áreas (NASCIMENTO, 2007).

As olarias (indústrias de cerâmica vermelha) se utilizam de lenha como fonte energética para realização da queima dos materiais em forno, contribuindo com a formação de paisagens áridas e com o agravamento da poluição ambiental (FERREIRA, 2012). O tijolo ecológico compensa o tijolo cerâmico e ainda evita desmatamentos por dispensar o cozimento (BARBOSA, 2018).

Segundo análise realizada por Aquino(2017), podem ser salvas de sete a doze espécies arbóreas na produção de cerca de mil tijolos ecológicos, uma vez que os mesmos não precisam passar pelo processo de queima, reduzindo assim o desmatamento.

### 3.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Segundo Plano Nacional de Qualidade do Ar (2009) são causas da emissão de gases poluentes: a industrialização, a crescente demanda por veículos automobilísticos, o consumismo, as queimadas e etc. A poluição atmosférica caracteriza-se como danosa à saúde, a produtividade agrícola, e aos ecossistemas. Devido à ação de ventos e chuvas a poluição pode ultrapassar fronteiras, exigindo assim soluções mundiais.



A Constituição da República Federativa do Brasil (1988) impõe ser direito de todos usufruir de um meio ambiente equilibrado, sendo dever do Estado e da sociedade preservá-lo para a qualidade de vida da população atual e posteridade.

A poluição atmosférica pode trazer diversos prejuízos à flora, fauna e a saúde humana (DAPPER, 2016). Os gases poluentes emitidos na atmosfera, principalmente os químicos, advindos das indústrias, representam um relevante problema de saúde pública (ROSEIRO, 2004).

Segundo estudos realizados por Dapper (2016), ocorreram no ano de 2014, 3080 internações por doenças respiratórias, sendo principalmente vítimas idosas, em Canoas-RS, estando diretamente relacionada com o CO e a umidade relativa média.

Considera-se também como consequência da poluição atmosférica as denominadas chuvas ácidas, se tratando de chuvas com pH abaixo de 5,6, que podem provocar prejuízos a vegetação, corpos hídricos, qualidade de vida, e a saúde humana (BRILHANTE, 1999).

Classificam-se como os principais agentes de poluição do ar: termoelétricas, indústrias alimentícias, metalúrgicas, indústrias petroquímicas e indústrias cerâmicas (SOUZA, 2016). Os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e fluoretos são os gases poluentes mais relevantes provenientes da atuação da indústria cerâmica (FLORÊNCIO, 2000).

A emissão dos poluentes atmosféricos ocorre durante o processo de transporte, recebimento, manuseio e mistura das matérias-primas, (materiais particulados) assim como durante o processo de queima (emissão de gases poluentes), necessário na produção de materiais cerâmicos (MAGALHÃES, 2016).

O processo de fabricação dos tijolos ecológicos, diferentemente dos tijolos cerâmicos convencionais, não conta com a queima do tijolo, portanto, afirma-se que o mesmo colabora com a minoração de problemas ambientais, uma vez que assim não emite gases poluentes na atmosfera (RIBEIRO, 2013).

### 3.3 CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS

A indústria da construção civil representa entre 20% e 50% do consumo de insumos naturais, sendo responsável por cerca de 2/3 da extração de madeira na sociedade atual (SILVA, 2015).

Devido à gradativa demanda por recursos naturais na atualidade, torna-se importante a procura por tecnologias ecologicamente corretas, podendo ser citada a utilização de solo-

cimento na indústria da construção civil, principalmente na produção de tijolos e blocos para alvenaria (PINTO, 2015).

Segundo Grigoletti (2001), os principais impactos acarretados pelo consumo de recursos naturais são:

- Degradação das áreas de extração;
- Escassez dos recursos;
- Consequente degradação e contaminação do solo.

Um dos grandes prejuízos ambientais ocasionados pela indústria da construção civil é a perda de material e a sua incorreta destinação, causando assoreamento dos rios e funcionamento incorreto das redes de galerias pluviais. Esses materiais são provenientes dos denominados recursos naturais, principalmente não renováveis, podendo ser citadas as cerâmicas vermelhas, advindas da argila, e a partir da qual se produz tijolos, pisos, louças, e etc. (HOLANDA, 2011).

Grande parte da degradação ambiental advinda do setor construtivo recai sobre as indústrias cerâmicas, proveniente do elevado consumo de bens naturais. São razões da degradação ambiental: extração de argila sem reposição, queima dos materiais e consumo de madeira para produção dos tijolos cerâmicos (SANTANA, 2013).

Muitas vezes a extração da argila é feita de maneira imprudente, visando apenas à economia, uma vez que se trata de uma atividade altamente lucrativa. Em diversos casos constata-se até mesmo o desrespeito às diretrizes e parâmetros impostos pela legislação ambiental vigente (JACOMETI, 2011).

São gerados impactos ambientais em todas as fases de produção dos produtos cerâmicos, sejam elas a de extração dos insumos (argila), transporte, industrialização e/ou comercialização. Classificam-se como impactos da indústria cerâmica: geração de áreas degradadas, desmatamento, assoreamento, erosão, poluição e etc. (HOLANDA, 2011).

A extração da argila ocasiona a danificação do solo, acelerando assim processos de erosão e assoreamento de cursos d'água existentes nas proximidades de jazidas, uma vez que a terra é conduzida para o fundo dos rios, reduzindo assim sua profundidade (HOLANDA, 2011).

O uso do tijolo solo-cimento reduz o consumo de recursos naturais, uma vez que não se utiliza de argila em sua produção (MORAIS, 2014). Sendo formado apenas por solo, cimento e água, possui matéria-prima farta na natureza (MOTTA, 2014).

O solo trata-se de um recurso natural com baixo impacto ambiental, apresentando baixo custo e grande disponibilidade na natureza. Vêm sendo desenvolvidas na atualidade

diversas técnicas para emprego deste insumo como material construtivo, uma vez que apresenta diversos benefícios, sendo uma delas a fabricação de tijolos e blocos ecológicos, que têm sido bastante utilizados em construções populares hoje em dia (PINTO, 2015).

### 3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, caracterizam-se como resíduos sólidos, materiais, substâncias, objetos, e/ou bens que são descartados em estado sólido, assim como gases comportados em recipientes e efluentes líquidos que devido suas características não podem ser despejados na rede pública de esgotamento sanitário e/ou em corpos hídricos.

A reutilização de rejeitos a partir de descobertas de novas técnicas é vista na atualidade como um complemento, contribuindo para variedade de produtos, benefícios econômicos, além da possibilidade de novos insumos para diversos setores industriais, inclusive para a indústria da construção civil (VALADÃO, 2015).

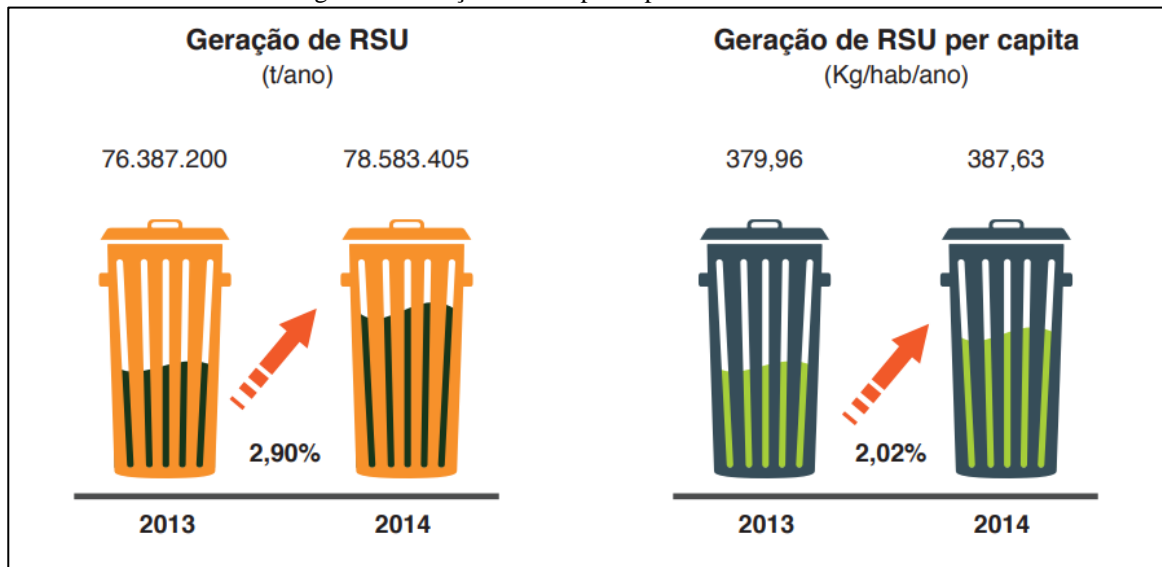
A industrialização em geral representa uma grande ameaça ambiental uma vez que a mesma produz subprodutos em forma de resíduos, que quando descartados de forma imprudente apresentam risco à população (saúde pública) e ao meio ambiente (LIMA, 2010).

Não se discute a relevância da indústria da construção civil para o desenvolvimento econômico social, todavia em contrapartida a mesma representa uma ameaça ao meio ambiente, seja através do consumo exorbitante de recursos naturais, alteração de paisagens e/ou produção de resíduos (SOARES, 2017).

Configura-se como ilegal a inadequada disposição de resíduos sólidos urbanos, uma vez que é extremamente negativa ao meio ambiente e pode vir a causar contaminação direta do solo, das águas, do ar e as pessoas (ABRELPE, 2014).

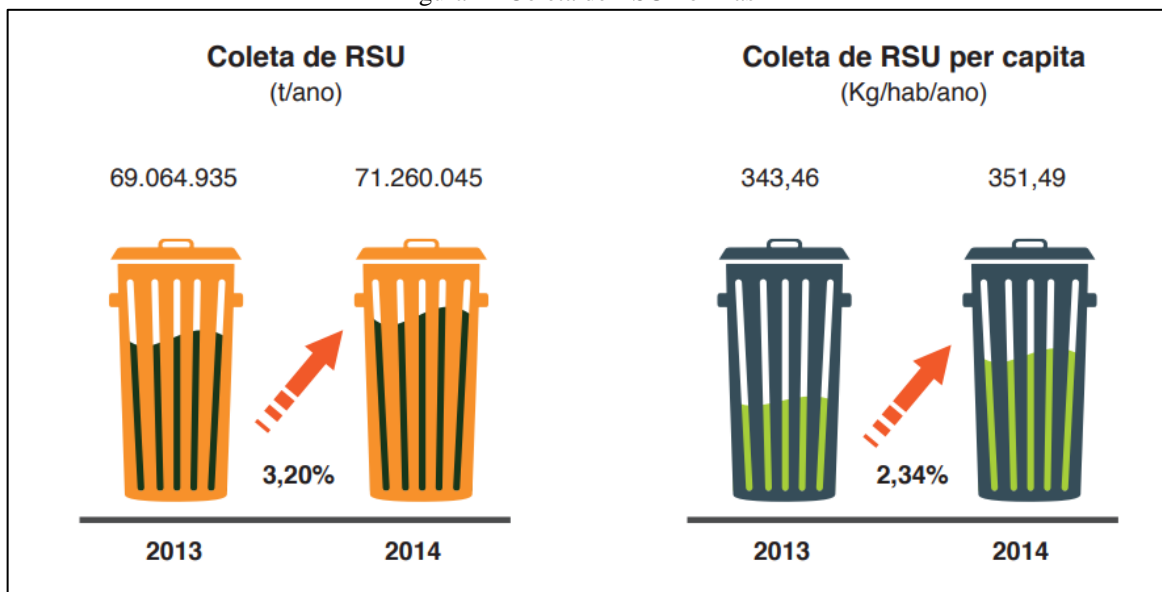
Segundo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela ABRELPE (2014), gerou-se no Brasil, no ano de 2014, 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, valor esse 2,9% superior ao ano anterior e 0,9% à taxa de crescimento populacional do ano. As figuras 3 e 4 a seguir, retratam os dados coletados:

Figura 3– Geração anual e per capita de RSU em 2014



Fonte: ABRELPE, 2014

Figura 4– Coleta de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE, 2014

Os resíduos caracterizados como de construção civil, ou seja, advindos de construções, reformas e/ou demolições, representam entre 40% e 60% dos resíduos destinados a aterros sanitários (local de descarte dos resíduos urbanos). Ressalta-se também que cerca de metade desses resíduos são descartados de forma imprópria em grande parte das cidades brasileiras. São consequências do descarte indevido desses resíduos: mau funcionamento de redes de água pluvial, distúrbios no sistema de esgotamento sanitário, proliferação de insetos e roedores, contaminação de águas subterrâneas, desperdício de materiais recicláveis e problemas de saúde pública (SOARES, 2017).

Conforme Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002, classificam-se os resíduos de construção civil em A, B, C e D, estando as devidas classes caracterizadas a seguir:

- Classe A: Resíduos provenientes de construções, demolições, reformas, reparos, serviços de terraplanagem, canteiro de obras, fabricação de peças e etc., passíveis de reciclagem. Os mesmos devem ser reutilizados em forma de agregados, ou encaminhados ao aterro sanitário municipal, para disposição em áreas próprias para RCC;
- Classe B: Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e etc. Devem ser reciclados, ou encaminhados a uma área de acondicionamento específica que não inviabilize uma futura reutilização;
- Classe C: Resíduos cuja reutilização ainda não é viável, devendo ser armazenados, transportados e destinados conforme as normas técnicas aplicáveis a eles;
- Classe D: São aqueles originados de construções e que apresentam periculosidade. Deverão ser armazenados, transportados e destinados conforme as normas técnicas aplicáveis a eles.

A indústria cerâmica pode gerar resíduos provenientes de sistemas de tratamento de efluentes, cacos de cerâmicas crus e/ou queimados, embalagens e bombonas contaminadas, sendo a má disposição dos mesmos, responsável por contaminação do solo e dos lençóis freáticos, devido à percolação de metais, como chumbo e zinco, muitas vezes superiores aos valores limites permitidos por lei (OLIVEIRA, 2006).

Segundo Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG, 2013), são os principais resíduos advindos da indústria de cerâmica vermelha:

- Resíduos perigosos, como óleos lubrificantes;
- Cinzas, provenientes do processo de combustão nos fornos;
- Material cru não conforme;
- Produto final fora dos parâmetros especificados;
- Resíduos comuns recicláveis.

A viabilidade da fabricação de tijolos ecológicos é justificável pela não geração de resíduos poluentes ainda por permitir a incorporação de resíduos em sua produção, se tornando assim vantajoso economicamente e tecnicamente. Os resíduos a serem empregados no processo variam conforme a região (LIMA, 2015).

Os resíduos remanescentes de construções e demolições podem ser utilizados como agregados na produção de solo-cimento, como por exemplo, restos de argamassa, concreto e materiais cerâmicos. Os resíduos de concreto, posteriormente a passarem pelo processo de trituração, assemelham-se a areias grossas, podendo assim corrigir a composição granulométrica de solos finos, conseqüentemente provocando a viabilização do uso dos mesmos na produção de solo-cimento (SOUZA, 2008).

É possível que a composição do solo-cimento seja formada por até 60% de resíduos de concreto em relação à massa de solo, sem que assim haja alterações significantes nas características do material (SOUZA, 2008).

A incorporação de resíduos na produção dos tijolos solo-cimento objetiva não apenas a redução de resíduos, como também de diversas outras problemáticas ambientais. O mesmo se destaca por apresentar a possibilidade de reciclagem de resíduos de diversas atividades, inclusive da própria construção civil (COSTA, 2011).

A técnica pode não só minorar os resíduos durante a execução de determinada obra, como também de toda a indústria da construção civil, reduzindo os impactos ambientais ocasionados pelo setor (VALADÃO, 2015).

Visto isso, a reciclagem dos resíduos sólidos aparece como solução para melhor racionalização das áreas de aterros sanitários e como vantagem econômica, mediante a possibilidade de sua comercialização para as indústrias de tijolos ecológicos (OLIVEIRA, 2014).

### 3.5 CONSUMO DE ENERGIA

A energia trata-se de um componente essencial à vida. Primordialmente era proveniente das lenhas das florestas e utilizada apenas com cunho doméstico. Na Idade Média surgiu a utilização da água e do vento como fonte energética e com a Revolução Industrial adotou-se também o uso de petróleo, carvão e gás (GOLDEMBERG, 2007).

Estatísticas revelam que 40% da energia utilizada atualmente no mundo é proveniente da indústria da construção civil, sendo em sua maioria utilizada para benefício, transporte e fabricação dos materiais construtivos (GRANDE, 2003).

O solo como material de construção trata-se de uma alternativa para economia de energia, uma vez que não necessitam de energia para queima e por se caracterizar como um material isolante, prevenindo assim gastos energéticos elevados para condicionamento dos ambientes (PISANI, 2005).

Ressalta-se que mesmo com o gasto energético da produção de cimento, uma das matérias primas dos tijolos ecológicos, o mesmo ainda representa economia se comparado com o tijolo cerâmico, pois a energia consumida é menor do que a necessária para queima dos tijolos convencionais e também pelo fato do cimento não ser o principal insumo do material (PISANI, 2005).

As alvenarias construídas com os denominados tijolos solo-cimento possuem furos que permitem o isolamento térmico e acústico do ambiente, tornando o local agradável em qualquer época do ano e evitando assim o uso de equipamentos elétricos utilizados para climatização. Consequentemente ocorre a economia de energia (SILVA, 2015).

Além de proporcionar conforto termo-acústico e por meio disto reduzir o consumo de energia em sua utilização, o material construtivo em questão também não precisa ser queimado, reduzindo assim o consumo de energia em sua produção (SILVA, 2015).

## **4 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA**

Após revisão bibliográfica acerca do tema em questão, realizou-se pesquisa de campo, através de visitas técnicas para maior conhecimento em relação às características produtivas dos materiais envolvidos, assim como testes em conformidade com as normas técnicas que regem o assunto, a fim de que fosse analisado o desempenho do material objeto deste estudo: o tijolo ecológico.

Visitou-se uma fábrica de tijolos ecológicos e uma fábrica de tijolos cerâmicos, existentes na região, onde levantou-se os seguintes dados:

- Matéria – Prima;
- Equipamentos e Processo Produtivo;
- Resíduos gerados;
- Consumo de energia;
- Quantidade produzida;
- Preço do produto;
- Público alvo;

Embasando-se em Normas da ABNT, executou-se testes de desempenho com os materiais citados, inferindo-se assim os benefícios previamente citados do uso de materiais ecológicos.

Após a finalização das atividades de averiguação, analisaram-se os resultados alcançados e obteve-se a ilação da presente pesquisa.

### **4.1 DADOS LEVANTADOS**

#### **4.1.1 Fábrica de tijolo ecológico**

A empresa estudo de caso têm sua sede situada no município de Anápolis-GO, e desenvolve a fabricação de artefato de cerâmica e barro cozido para uso na construção, exceto azulejos e pisos.

Realizou-se visita técnica ao local, no dia 04 (quatro) de agosto de 2018, sob supervisão de um dos profissionais da empresa.

##### **4.1.1.1 Matéria-Prima**



O tijolo solo-cimento, como indicado previamente, é composto por solo, cimento e água. A empresa estudo de caso utiliza-se de saibro e cimento CP V extra forte.

Para cada remessa produzida, correspondente a 140 tijolos ecológicos, utiliza-se 20 kg de cimento (meio saco), para 360 litros de saibro (seis carrinhos de mão de 60l).

O saibro é constituído de areia e argila e conceitua-se como um material poroso (ARAÚJO, 1995).

Geralmente, o saibro utilizado é advindo do município de Cocalzinho-Go, enquanto o cimento é da Ciplan Cimentos ou Votorantin (marca Tocantins), adquiridos junto a revendedoras de Anápolis-GO.

A figura 5 a seguir, retrata o saibro utilizado na produção:

Figura 5 - Saibro utilizado na confecção dos tijolos ecológicos - Tijoleko



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.1.2 Equipamentos e Processo produtivo

##### 4.1.1.2.1 Esquipe

O primeiro equipamento utilizado na produção do tijolo ecológico trata-se do esquipe, cuja finalidade é alimentar o misturador com a matéria-prima. A figura 6 a seguir, mostra o equipamento citado já com os materiais em seu interior:

Figura 6- Esquipe – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.1.2.2 Misturador

O misturador têm a função de conglomerar a matéria-prima transportada pelo esquipe com água, até obter-se uma massa homogênea. O equipamento encontra-se representado na figura 7 a seguir:

Figura 7 - Misturador – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.1.2.3 Peneira

A peneira situa-se logo abaixo do misturador, e têm o objetivo de segregar os resíduos sólidos grosseiros que possam vir a estar aglomerados ao material. A figura 8 a seguir, ilustra o equipamento em questão:

Figura 8 - Peneira – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.1.2.4 Esteira

A esteira têm a aplicabilidade de transporte, permitindo o traslado do material peneirado, à prensa hidráulica. O equipamento encontra-se ilustrado na figura 9 a seguir:

Figura 9 - Esteira – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.1.2.5 Prensa hidráulica

A prensa hidráulica é o último equipamento pelo qual passa o tijolo ecológico durante sua produção. O produto provém da máquina já finalizado, tendo sido prensado e moldado pela mesma. A figura 10 a seguir, retrata a máquina citada:

Figura 10 - Prensa hidráulica – equipamento utilizado na produção de tijolo ecológico



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.1.3 Resíduos gerados

Os resíduos sólidos provenientes do processo produtivo do tijolo ecológico tratam-se de resíduos de papel e papelão, correspondentes às embalagens do cimento, e resíduos grosseiros, como pedras, retirados da peneira.

Ambos os tipos de resíduos são recolhidos pela Prefeitura Municipal de Anápolis, e encaminhados para disposição final no Aterro Sanitário Municipal.

Estima-se uma quantidade mensal de 3 m<sup>3</sup> de resíduos sólidos, advindos da produção. Com base nos dados levantados, e considerando que a empresa produz mensalmente cerca de 80.000 (oitenta mil) tijolos, cada tijolo ecológico produzido gera aproximadamente 0,0000375 m<sup>3</sup> de resíduos.

#### 4.1.1.4 Consumo de energia

A fábrica estudo de caso consome mensalmente cerca de 2.181,76 Kw/h de energia elétrica. Considerando uma produção mensal de 80.000 (oitenta mil) tijolos ecológicos, estima-se um consumo unitário de 0,027 Kw/h.

#### 4.1.1.5 Preço do Produto

Conforme tabela de preços da empresa, o milheiro de tijolos ecológico custa R\$ 890,00 (oitocento e noventa reais), sendo assim, cada tijolo ecológico custa R\$ 0,89 (oitenta e nove centavos).

#### 4.1.1.6 Público Alvo

Apesar de situar-se no município de Anápolis, as principais vendas da empresa são para o Distrito Federal, com o intuito de construir-se edificações preferencialmente rústicas, como sedes de fazendas e casas no lago.

#### 4.1.2 Fábrica de tijolos cerâmicos convencionais

A cerâmica visitada trata-se de uma empresa familiar consolidada no Município de Anápolis, voltada à fabricação de artefatos de cerâmica e barro cozido. A mesma situa-se em um bairro do município onde é frequente a presença de olarias, a Vila Fabril.

A fábrica produz 4 diferentes tipos de tijolos, como pode-se verificar na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Tipos de tijolos produzidos pela fábrica de tijolos cerâmicos analisada

| <b>Denominação</b>     | <b>Dimensões (cm)</b> |
|------------------------|-----------------------|
| Tijolo Furado          | 14 x 19 x 19          |
| Tijolo Furado (Baiano) | 9 x 14 x 24           |
| Tijolo Furado          | 11,5 x 19 x 19        |
| Tijolo Furado          | 9 x 19 x 19           |

Fonte: Autor (2018)

#### 4.1.2.1 Matéria-Prima

Caracteriza-se como matéria-prima para produção de tijolo cerâmico convencional, argila, também popularmente denominado barro, água e materiais para abastecimento do forno, como eucalipto, cavaco móido e restos de construção civil.

A extração de argila é realizada em barreiros legalizados no estado de Goiás, nos municípios de Petrolina, Inhumas e no povoado de Radiolândia, localizado no município de Pirenópolis.

É tarefa do empreendedor ir até o local de extração e realizar a coleta do material através de escavadeira e pá carregadeira. Cada barreiro atinge uma profundidade aproximada de 6 a 7 metros de profundidade.

O material é estocado de novembro a fevereiro, no pátio do empreendimento, a fim de suprir as necessidades da produção durante o período da seca (maio a outubro).

O eucalipto utilizado na queima dos tijolos, é extraído nos municípios de Silvânia, Abadiânia, Campo Limpo e no distrito de Interlândia.

As figuras 11 e 12 a seguir, retratam respectivamente a argila utilizada na produção e o eucalipto necessário à queima dos tijolos:

Figura 11 - Argila armazenada no empreendimento.



Fonte: Autor (2018).

Figura 12 - Eucalipto utilizado pelo empreendimento.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2 Equipamentos e Processo produtivo

##### 4.1.2.2.1 Caixão alimentador de argila

O primeiro equipamento utilizado na produção de tijolos cerâmicos convencionais trata-se do caixão alimentador de argila. Objetiva dosar a argila a ser utilizada e triturar a mesma, a fim de retirar torrões e pedras. A mesma encontra-se retratada na figura 13 a seguir:

Figura 13 - Caixão alimentador de argila



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.2 Esteira

Assim como no processo produtivo do tijolo ecológico, a esteira no processo produtivo do tijolo cerâmico possui a função de transportar os materiais de um equipamento a outro. A figura 14 a seguir mostra a esteira transportadora da fábrica em questão:

Figura 14 - Esteira transportadora



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.3 Desintegrador

O desintegrador têm a incubência de desintegrar torrões e pedras da matéria-prima (argila). Retrata-se o mesmo a seguir, por meio da figura 15:

Figura 15 - Desintegrador utilizado pelo empreendimento



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.4 Misturador

Neste equipamento é realizada a mistura de todas as matérias-primas do produto, tratando-se de diferentes tipos de argila e água. A máquina é ilustrada a seguir, na figura 16:

Figura 16 - Misturador utilizado pelo empreendimento.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.5 Maromba

A maromba é a máquina que prensa a matéria prima e molda a massa conforme o formato do tijolo furado. A figura 17 a seguir, retrata a máquina em questão:



Figura 17 - Maromba – máquina que prensa e molda.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.6 Cortadeira

Neste equipamento é realizado o corte do tijolo conforme a dimensão desejada. O maquinário encontra-se retratado na figura 18 a seguir.

Figura 18- Maromba – máquina que prensa e molda.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.7 Depósito para secagem

Após saírem já cortados, os tijolos cerâmicos ficam dispostos em prateleiras, em local ventilado, para secagem. Caso o tempo esteja chuvoso, o período de secagem varia de 25 a 30 dias.

Em casos de encomendas emergenciais, o empreendimento conta com o método de secagem rápida, onde os tijolos ficam dispostos em área que recebe o calor do forno por meio de um exaustor e a secagem é possível de um dia para o outro.

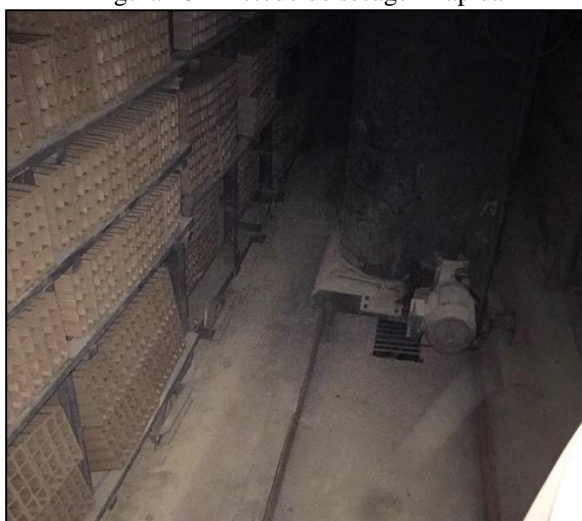
As figuras 19 e 20 a seguir, retratam respectivamente o método de secagem natural e secagem rápida utilizada pelo empreendimento.

Figura 19 - Depósito de secagem com ventilador.



Fonte: Autor (2018).

Figura 20 - Método de secagem rápida



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.2.8 Forno

A última fase do processo de produção do tijolo cerâmico é a queima do material em forno. Cada forno tem capacidade de cerca de 18.000 (dezoito mil) tijolos, chegando a uma temperatura de até 960 °C.

O fogo chega pela lateral, subindo e descendo, até alcançar todas as fiadas de tijolos dentro do forno de queima. Utiliza-se 1 m<sup>3</sup> de lenha para queima de 1.000 (mil) tijolos cerâmicos. A figura 21 a seguir, retrata o processo de queima do tijolo em questão:

Figura 21 - Forno utilizado na queima dos tijolos cerâmicos.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1.2.3 Resíduos gerados

Os resíduos provenientes da produção de tijolo cerâmico tratam-se de cinzas e carvão, advindos do processo de queima dos tijolos. Estima-se a geração de cerca de 33,33 m<sup>3</sup> por mês de resíduos.

Considerando que o empreendimento produz cerca de 600.000 (seiscentos mil) tijolos cerâmicos mensalmente, estima-se uma produção de 0,000055 m<sup>3</sup> de resíduos por unidade de tijolo.

#### 4.1.2.4 Consumo de energia

Estima-se um consumo mensal de 34.090,91 Kw/h de energia elétrica. Com base nos dados levantados, calcula-se um consumo de 0,057 Kw/h para produção de cada tijolo cerâmico.

#### 4.1.2.5 Preço do produto

Com base na tabela de preços da fábrica analisada, o milheiro (1000 unidades) de tijolos cerâmicos custa em média R\$ 330,00 (trezentos e trinta reais), o que proporciona um custo unitário de R\$0,33 (trinta e três centavos).

#### 4.1.2.6 Público alvo

A empresa em questão possui um público variado, sendo vendidos tijolos para diversos tipos de construção no município e região. Entretanto, o empreendedor têm preferência em comercializar as peças com construtoras.

## 4.2 TESTES REALIZADOS

### **4.2.1 Teste de impacto corpo duro e corpo mole conforme Método NBR 15575 -4 (ABNT, 2013)**

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) é uma norma voltada ao desempenho de edificações habitacionais, que dispõe sobre sistemas de vedações verticais internas e externas. Impõe como requisito para aprovação de um determinado sistema de vedação, a resistência à impactos de corpo duro e corpo mole.

Com base nas diretrizes impostas pela NBR citada, realizou-se os teste de impacto de corpo duro e corpo mole em um protótipo de parede vertical externa de tijolos ecológicos, simulando uma parede de residência térrea, a fim de determinar se o material atende as especificações da norma vigente.

O protótipo executado possuía 3,02 m de comprimento e 2,50 m de altura, não tendo sido realizado impermeabilização das peças ou rejunte por se tratar apenas de um teste laboratorial com fins acadêmicos, entretanto, ressalta-se que para o uso cotidiano os processos deveriam ter sido executados.

Seguindo o processo construtivo indicado pelo fabricante, a parede foi executada da seguinte maneira: a cada um metro horizontal contruiu-se uma fiada de canaletas ecológicas, preenchidas com concreto e com ferragem de 4 mm de espessura, e a cada metro vertical implantou-se colunas de concreto com ferragem de 8 mm, executadas nos próprios furos dos tijolos.

O assentamento das peças deu-se através de argamassa AC-II, utilizada para revestimento interno e externo, e cola branca extra forte. A figura 22, a seguir, retrata o processo executivo do protótipo analisado:

Figura 22- Assentamento dos tijolos durante execução de protótipo.



Fonte: Autor (2018).

Os testes foram realizados em parceria com o Laboratório Carlos Campos – Consultoria e Construções Limitada, situado no município de Goiânia-GO. A empresa funciona desde 1973, realizando testes laboratoriais, consultorias, recuperação/reforço estrutural, reabilitação de obras, fiscalização e inspeção da qualidade, avaliação técnica de serviços executados, adequação dos processos construtivos às necessidades da obra, serviços especiais em engenharia e ministrando cursos. Juntamente com os técnicos do laboratório citado, os autores realizaram ambos os testes no dia 25 de agosto de 2018.

A figura 23 a seguir mostra o protótipo executado:

Figura 23- Assentamento dos tijolos durante execução de protótipo.



Fonte: Autor (2018).

A seguir serão descritos os procedimentos abordados para realização dos testes estipulados:

#### 4.2.1.1 Teste de impacto de corpo duro

Conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013), após sofrerem impactos de corpo duro às paredes verticais não devem:

- Conter fissuras, escamações ou deformidades, exceto as mossas geradas pelo impacto de corpo duro;
- Apresentar ruptura ou traspassamento do sistema de vedação.

A tabela 4 a seguir, caracteriza os valores de impacto a serem sofridos pelas paredes, assim como os critérios para aprovação dos sistemas, com base nos critérios da norma:

Tabela 4 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas

| <b>Sistema</b>                                | <b>Impacto</b>                              | <b>Energia de impacto de corpo duro (J)</b> | <b>Critério de desempenho</b>   |
|---|---|---|---|
|   |   | 3,75  | Não ocorrência de falhas inclusive no revestimento (estado limite de serviço)                   |
| Vedação vertical com ou sem função estrutural | Impacto externo (acesso externo ao público) | 20  | Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado limite de serviço) |

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

O teste consiste no abandono pendular, em repouso, de dois corpos duros, um com massa de 1 kg e outro com massa de 0,5 kg, se tratando de esferas de aço. Deve-se proferir 10 impactos de cada energia na parede vertical e analisar se a mesma atende o disposto nos critérios de desempenho, além de medir a profundidade das mossas formadas a partir do impacto. Em se tratando do impacto de 3,75 J, as mossas não devem ultrapassar profundidade de 2,0 mm, enquanto o de 20 J não deve permitir ruptura ou traspassamento (NBR 15575-4 (ABNT, 2013)).

A figura 24 a seguir, ilustra a execução do teste em questão:

Figura 24 - Execução do teste de corpo duro.



Fonte: Autor (2018).

A tabela 5 a seguir, informa os resultados obtidos após realização do teste de corpo duro:

Tabela 5 - Resultados levantados após realização de teste de corpo duro.

| Quant. | Impacto | Massa<br>(Kg) | Energia (J) | Ocorrências                   |                                  |
|--------|---------|---------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|
|        |         |               |             | Profundidade da<br>mossa (mm) | Fissuras/ Escamações/<br>Ruptura |
| 1°     |         |               |             | 0,8                           |                                  |
| 2°     |         |               |             | 0,6                           |                                  |
| 3°     |         |               |             | 0,8                           |                                  |
| 4°     |         |               |             | -                             | Ruptura                          |
| 5°     |         | 0,5           | 3,75        | 0,8                           |                                  |
| 6°     |         |               |             | 1,2                           |                                  |
| 7°     |         |               |             | 0,8                           |                                  |
| 8°     |         |               |             | 0,9                           |                                  |
| 9°     |         |               |             | 0,9                           |                                  |
| 10°    | Impacto |               |             | 0,7                           |                                  |

|     |         |   |    |     |         |
|-----|---------|---|----|-----|---------|
| 1°  | Externo |   |    | 1,6 |         |
| 2°  |         |   |    | 1,6 |         |
| 3°  |         |   |    | 1,6 |         |
| 4°  |         |   |    | 1,4 |         |
| 5°  |         | 1 | 20 | 1,6 |         |
| 6°  |         |   |    | 1,5 | Ruptura |
| 7°  |         |   |    | 1,3 |         |
| 8°  |         |   |    | 1,4 |         |
| 9°  |         |   |    | 1,5 |         |
| 10° |         |   |    | 1,6 |         |

Fonte: Autor (2018).

Observa-se que no impacto de nº 04, com a esfera de aço de 0,5 kg, e energia de 3,75 J, assim como o impacto de nº 6, com a esfera de 1,0 kg e energia de 20 J, houve ruptura na peça. Isso se deve ao fato de o impacto ter sido proferido na quina dos tijolos ecológicos (juntas seca). Após análise com os técnicos que realizaram os testes e com os fabricantes do material, inferiu-se que caso houvesse sido realizado o rejunte no sistema de vedação em questão, possivelmente as rupturas não teriam ocorrido.

A figura 25 a seguir retrata a situação do sistema de vedação analisado, após a execução do teste de impacto de corpo duro:

Figura 25 - Resultado do teste de corpo duro.



Fonte: Autor (2018).



#### 4.2.1.2 Teste de impacto de corpo mole

Conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013), após sofrerem impactos de corpo mole às paredes verticais não devem:

- Sofrer ruptura ou instabilidade;
- Apresentar fissuras, escamações ou variáveis falhas;
- Provocar danos a componentes, instalações ou aos acabamentos.

A tabela 6 a seguir, caracteriza os valores de impacto a serem sofridos pelas paredes, assim como os critérios para aprovação dos sistemas, com base nos critérios da norma:

Tabela 6 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas.

| <b>Elemento</b>                        | <b>Impactos</b>                             | <b>Energia de impacto de corpo mole (J)</b> | <b>Critério de desempenho</b>   |
|--|---|---|---|
| Vedação vertical sem função estrutural | Impacto externo (acesso externo ao público) | 120   | Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)   |
|  |   | 180   | Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)   |
|  |   | 240   | Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) e limite de deslocamento<br>$dh \leq h/125$<br>$dhr \leq h/625$ |
|  |   | 360   | Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)   |
|  |   | 480   | Não ocorrência de ruína (estado limite último)  |
|  |   | 720   | Não ocorrência de ruína (estado limite último)  |

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

O teste consiste no abandono pendular, em repouso, de um corpo mole com massa de 40 kg, se tratando de um saco de areia. Deve-se proferir um impacto de cada energia na parede vertical e analisar se a mesma atende o disposto nos critérios de desempenho, além de medir o deslocamento da parede, não devendo ultrapassar o limite estabelecido para o impacto de 240 J (NBR 15575-4 (ABNT, 2013)).

Constatou-se o deslocamento através da fixação na parte posterior do protótipo de uma folha milimetrada e de um lápis. Após a aplicação dos impactos, os riscos resultantes no papel eram medidos em mm, afim de se identificar o deslocamento da parede.

A norma estipula a análise de deslocamento transversal instantâneo, e deslocamento transversal residual.

A figura 26 a seguir, retrata o sistema implantado para detecção do deslocamento do protótipo:

Figura 26 - Detecção do deslocamento da parede.



Fonte: Autor (2018).

A figura 27 mostra a execução do teste de impacto de corpo mole.

Figura 27 - Procedimento executivo do teste de impacto de corpo mole



Fonte: Autor (2018).

A tabela 7 a seguir, informa os resultados obtidos após realização do teste de corpo mole:

Tabela 7 - Resultados do teste de impacto de corpo mole.

| <b>Impacto</b> | <b>Energia (J)</b> | <b>Deslocamento transversal Instantâneo (mm)</b> | <b>Deslocamento transversal residual (mm)</b> | <b>Ocorrências = Fissuras/ escamações/ ruptura</b> |
|----------------|--------------------|--|---|--|
| Externo        | 120                | 0,00   | 0,00  | -  |
|                | 180                | 2,00   | 0,00  | -  |
|                | 240                | 6,30   | 1,50  | -  |
|                | 360                | 8,70   | 2,60  | Trinca ínfima na parte posterior da parede         |
|                | 480                | 11,1   | 2,40  | Fissura na parte posterior                         |
|                | 720                | 9,4  | 0,00  | Fissura na parte posterior                         |

Fonte: Autor (2018).

Observou-se que o protótipo analisado atendeu todos os critérios implementados pela norma, uma vez que o deslocamento após aplicação dos 240 J de energia não ultrapassou os limites, tanto se tratando do deslocamento instantâneo quanto residual, e não houve falhas que comprometessem o estado limite de serviço da parede analisada, e/ou ruína da mesma.

#### 4.2.2 Teste de absorção de água conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012)

Realizou-se o teste de absorção de água conforme método NBR 8492 (ABNT, 2012), visando atender os parâmetros estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Os corpos de prova a serem submetidos ao teste, passaram primordialmente por análise dimensional, se tratando de 3 unidades. O procedimento se dá com três determinações para cada dimensão (extremidades e centro), obtendo-se assim o valor médio de cada dimensão (NBR 8492 (ABNT, 2012)).

O quadro 2 e 3 a seguir, retratam as dimensões nominais que os tijolos deve atender, se tratando do tipo B (tipo do tijolo analisado), e os resultados obtidos no teste em questão, respectivamente:

Quadro 2 - Dimensão Nominal a ser atendida

| <b>Tipo</b> | <b>Comprimento</b> | <b>Largura</b> | <b>Altura</b> |
|-------------|--------------------|----------------|---------------|
| B           | 240 mm             | 120 mm         | 70 mm         |

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012)

Quadro 3 - Dimensão dos corpos de prova utilizados no teste

| <b>Tijolo</b> | <b>Comprimento</b> | <b>Largura</b> | <b>Altura</b> |
|---------------|--------------------|----------------|---------------|
|---------------|--------------------|----------------|---------------|

|   |        |        |       |
|---|--------|--------|-------|
| 1 | 240 mm | 120 mm | 70 mm |
| 2 | 240 mm | 119 mm | 70 mm |
| 3 | 240 mm | 119 mm | 71 mm |

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012)

Conforme NBR 8491 (ABNT, 2012), a tolerância permitida de variação das dimensões nominais dos corpos de prova é de  $\pm 1,00$  mm, para todas as dimensões. Portanto, concluiu-se que os tijolos foram aprovados na análise dimensional.

A seguir os tijolos submetidos ao teste (3 unidades), foram secados em estufa com temperatura de  $105^{\circ}$  C, para obtenção da massa seca dos corpos de prova. O procedimento repetiu-se até que a variação da massa em relação à pesagem anterior não fosse elevada (NBR 8492 (ABNT, 2012)).

Uma vez que a NBR 8492 (ABNT, 2012) que rege este ensaio não determina os critérios para constância, adotou-se os parâmetros conforme NBR 15270-3 (ABNT, 2005), referente a componentes cerâmicos, métodos de ensaio. A mesma determina que a pesagem deve ser realizada a cada hora, até que a variação não ultrapasse 0,25%.

A tabela 8 a seguir, revela os resultados obtidos pela segunda fase do ensaio:

Tabela 8 - Identificação da massa seca dos corpos de prova

| <b>Estado</b>          | <b>Massa Tijolo 1 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo 2 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo 3 (kg)</b> |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Inicial                | 3,33                       | 3,40                       | 3,405                      |
| Após secagem em estufa | 3,335                      | 3,40                       | 3,40                       |

Fonte: Autor (2018).

Os primeiros resultados obtidos, já representaram uma variação inferior a 0,25%, não sendo necessário a repetição do procedimento.

Após obtenção da massa seca, os corpos de prova foram submergidos em água, por um período de 24 horas, a fim de identificar a capacidade de absorção dos tijolos. Assim que finalizado o prazo estipulado pela norma, os tijolos foram enxutos através de pano úmido, e submetidos a uma nova pesagem (NBR 8492 (ABNT, 2012)).

O quadro 4 a seguir retrata os resultados obtidos:

Quadro 4 - Massa saturada dos corpos de prova

| <b>Tijolo</b> | <b>Massa (kg)</b> |
|---------------|-------------------|
|---------------|-------------------|

|   |      |
|---|------|
| 1 | 3,74 |
| 2 | 3,77 |
| 3 | 3,78 |

Fonte: Autor (2018)

Conforme determinação da NBR 8492 (ABNT, 2012), obteve-se os valores de absorção de água, em porcentagem, através da fórmula matemática:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

onde:

A= absorção de água expressa em porcentagem (%);

m1= massa do corpo de prova seco em estuda, expressa em gramas (g);

m2= massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

O quadro 5 abaixo, informa os valores de absorção de água obtidos após conclusão do teste de absorção de água.

Quadro 5 - Valores de absorção de água

| <b>Tijolo</b> | <b>Índice de absorção de água (%)</b> |
|---------------|---------------------------------------|
| 1             | 11,14                                 |
| 2             | 10,88                                 |
| 3             | 11,01                                 |
| Média         | 11,01                                 |

Fonte: Autor (2018)

Conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) a amostra em questão foi aprovada, uma vez que a média dos valores obtidos não deve ultrapassar 20%, e individualmente, nenhum dos corpos de prova pode apresentar valores superiores a 22%.

Para fins comparativos, realizou-se também o teste de absorção de água em tijolos cerâmicos, desta vez, seguindo as diretrizes e parâmetros impostos pela NBR 15270-1 (ABNT, 2005) e NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Conforme NBR 15270-1 (ABNT, 2005), a amostra de tijolo cerâmico para realização do teste de absorção de água é composta por seis corpos de prova. Para determinação da massa seca, submeteu-se os tijolos cerâmicos à secagem em estufa, a uma temperatura média

de 105°C, a cada hora, até que a variação de massa de uma pesagem a outra não ultrapassasse o limite de 0,25% (NBR 15270-3 (ABNT, 2005)).

O quadro 6 a seguir ilustra os valores obtidos através do procedimento:

Quadro 6 - Determinação da massa seca dos corpos de prova cerâmicos

| <b>Estado</b>          | <b>Massa Tijolo1 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo2 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo3 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo4 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo5 (kg)</b> | <b>Massa Tijolo6 (kg)</b> |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Inicial                | 1,98                      | 2,065                     | 1,97                      | 2,135                     | 2,145                     | 2,16                      |
| Secagem em estufa (1ª) | 1,98                      | 2,065                     | 1,96                      | 2,13                      | 2,14                      | 2,155                     |
| Secagem em estufa (2ª) | -                         | -                         | 1,95                      | -                         | -                         | -                         |
| Secagem em estufa (3ª) | -                         | -                         | 1,945                     | -                         | -                         | -                         |

Fonte: Autor (2018)

Conforme NBR 15270-3 (ABNT, 2005), a amostra deve ser mantida em água fervente por 2 horas para obtenção do índice de absorção, ou, alternativamente, submerso durante 24 h em água com temperatura ambiente. Adotou-se o segundo procedimento.

Após retirada dos corpos de prova da água, realizou-se o cálculo de determinação da absorção de água, conforme estabelecido na NBR 15270-1 (ABNT, 2005), se tratando do mesmo cálculo utilizado para a determinação com tijolos ecológicos.

O quadro 7 a seguir, informa as massas saturadas da amostra, assim como índice de absorção encontrado:

Quadro 7 - Resultados obtidos pelo teste de absorção de água em tijolos cerâmicos.

| <b>Denominação</b>     | <b>Tijolo 1</b> | <b>Tijolo 2</b> | <b>Tijolo 3</b> | <b>Tijolo 4</b> | <b>Tijolo 5</b> | <b>Tijolo 6</b> |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Massa satura (kg)      | 2,39            | 2,485           | 2,37            | 2,53            | 2,51            | 2,535           |
| Índice de Absorção (%) | 20,71           | 20,34           | 20,30           | 18,50           | 17,02           | 17,36           |

Fonte: Autor (2018)

A média dos valores de absorção de água encontrada foi de 19,04 %, atendendo o estabelecido pela NBR 15270-1 (ABNT, 2005), que permite um índice variante entre 8 e 22%.

A figura 28 a seguir, retrata o procedimento de secagem em estufa para obtenção de massa seca dos corpos de prova analisados:

Figura 28 - Corpos de prova em estufa para secagem



Fonte: Autor (2018).

#### **4.2.3 Determinação da resistência a compressão conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012)**

Realizou-se o teste de determinação da resistência a compressão conforme método NBR 8492 (ABNT, 2012), visando atender os parâmetros estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

O maquinário utilizado atendeu ao item 3.2.1. da NBR 8492 (ABNT, 2012), conforme estabelecido pela mesma. Os corpos de prova devem ser cortados ao meio, superpostos e ligados com pasta de cimento pré-contraída. Visando a planitude das faces das peças, procedeu-se o capeamento com pasta de cimento (NBR 8492 (ABNT, 2012)).

Após endurecimento da pasta, a amostra estipual em norma, composta por 7 blocos, foi submergida em água durante o período de 6 horas. Assim que retiradas, foram enxutas com pano úmido e submetidas ao teste de resistência à compressão.

Com o corpo de prova locado no prato inferior da máquina, são inferidos sobre o mesmo, força gradual de compressão até o rompimento da peça. A figura 29 abaixo, retrata a realização do procedimento:

Figura 29 - Ensaio de resistência a compressão.



Fonte: Autor (2018).

Após a procedência do teste, obteve-se os resultados dispostos no quadro 8 a seguir:

Quadro 8 - Resultados obtidos pelo teste de resistência a compressão em tijolos ecológicos.

| <b>Identificação do corpo de prova</b> | <b>Idade (dias)</b> | <b>Tensão Ruptura</b> | <b>Carga Ruptura</b> |
|--|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Bloco 1                                | 31                  | 2,2 Mpa               | 3.190 kgf            |
| Bloco 2                                | 31                  | 1,6 Mpa               | 2.330 kgf            |
| Bloco 3                                | 31                  | 1,4 Mpa               | 2.100 kgf            |
| Bloco 4                                | 31                  | 2,1 Mpa               | 3.140 kgf            |
| Bloco 5                                | 31                  | 1,6 Mpa               | 2.300 kgf            |
| Bloco 6                                | 31                  | 2,2 Mpa               | 3.290 kgf            |
| Bloco 7                                | 31                  | 1,6 Mpa               | 2.440 kgf            |

Fonte: Autor (2018).

Embasando-ne na NBR 8491 (ABNT, 2012), a média dos valores obtidos não deve ser inferior a 2 MPa, assim como individualmente não devem apresentar valores inferiores a 1,7 Mpa, com idade mínima de sete dias. Entretanto afirma-se que o lote foi reprovado no teste realizado, uma vez que obteu-se 1,81 de média, e apresentou valores individuais inferiores ao limite permitido.

Com fins comparativos, realizou-se o mesmo teste com amostra de blocos cerâmicos. Desta vez, embasou-se nas normas NBR 15270-1 (ABNT, 2005) e NBR 15270-3 (ABNT,



2005), que regem as diretrizes e parâmetros para teste de resistência a compressão em tijolos cerâmicos.

A amostra estipulada em norma, composta por 13 blocos cerâmicos, primeiramente passou pelo processo de capeamento com pasta de cimento e após endurecimento da mesma, os corpos de prova foram submetidos à imersão em água, pelo período de 6 horas. Os blocos foram ensaiados de modo que a carga aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante seu uso (NBR 15270-3 (ABNT, 2005)).

Assim como no teste com tijolos ecológicos, os tijolos cerâmicos foram submetidos à força gradual de compressão, em prensa que atendia os requisitos impostos por norma. O quadro 9 abaixo, retrata os resultados alcançados:

Quadro 9 - Resultados obtidos pelo teste de resistência a compressão em tijolos cerâmicos.

| <b>Identificação do corpo de prova</b> | <b>Idade (dias)</b> | <b>Tensão Ruptura</b> | <b>Carga Ruptura</b> |
|--|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Bloco 1                                | 72                  | 0,4 MPa               | 750 kgf              |
| Bloco 2                                | 72                  | 0,4 MPa               | 770 kgf              |
| Bloco 3                                | 72                  | 0,5 MPa               | 840 kgf              |
| Bloco 4                                | 72                  | 0,3 MPa               | 490 kgf              |
| Bloco 5                                | 72                  | 0,3 MPa               | 490 kgf              |
| Bloco 6                                | 72                  | 0,3 MPa               | 600 kgf              |
| Bloco 7                                | 72                  | 0,6 MPa               | 1.030 kgf            |
| Bloco 8                                | 72                  | 0,6 Mpa               | 1.060 kgf            |
| Bloco 9                                | 72                  | 0,2 Mpa               | 290 kgf              |
| Bloco 10                               | 72                  | 0,5 Mpa               | 840 kgf              |
| Bloco 11                               | 72                  | 0,5 Mpa               | 940 kgf              |
| Bloco 12                               | 72                  | 0,5 Mpa               | 810 kgf              |
| Bloco 13                               | 72                  | 0,3 MPa               | 610 kgf              |

Fonte: Autor (2018).

Conforme NBR 15270-1(ABNT, 2005), os blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal, devem apresentar resistência de compressão maior ou igual a 1,5 MPa. Desta forma, infere-se que o lote não foi aprovado no teste em questão, uma vez que todos os valores encontrados foram inferiores ao estipulado em norma.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS

Posteriormente a realização das visitas técnica e testes, foi possível identificar as vantagens e desvantagens da produção e emprego de tijolos ecológicos na construção civil, em especial quando comparados com os tijolos cerâmicos, convencionalmente adotados.

Em se tratando das matérias-primas, ressalta-se a grande abundância do solo na natureza, em contrapartida da argila, utilizada na produção dos tijolos cerâmicos. Diante desta realidade, enfatiza-se a importância da conservação dos recursos naturais, de extrema importância para indústria brasileira, em especial para indústria da construção civil.

São gerados 0,0000375 m<sup>3</sup> de resíduos sólidos para se produzir uma unidade tijolo solo-cimento, enquanto uma unidade de tijolo cerâmico produz 0,000055 m<sup>3</sup>. Sendo assim, um tijolo ecológico produz cerca de 32% menos resíduos que um tijolo convencional. Salienta-se ainda, que durante o emprego dos tijolos, o tijolo ecológico representaria uma significativa economia de RCC uma vez que a estrutura de encaixe das peças facilita os cálculos e limita os cortes (SILVA, 2015). Evidencia-se também a possibilidade do uso de resíduos sólidos como agregados na produção dos tijolos ecológicos, reciclando-os e evitando assim o seu descarte, muitas vezes inapropriado.

Para produção de uma unidade de tijolo ecológico são consumidos cerca de 0,027 kwh de energia elétrica, quando para produção de tijolo cerâmico estima-se 0,057 kwh. Desta forma, a produção de tijolo ecológico representa cerca de 53% de economia de energia elétrica. Ressalta-se ainda que para produção de tijolos ecológicos não são utilizados lenha para queima dos blocos, enquanto para produção de uma unidade de tijolo cerâmico são necessários 0,001 m<sup>3</sup> de lenha, ou seja, para cada 1000 tijolos ecológicos produzidos, economiza-se 1 m<sup>3</sup> de lenha.

Em relação ao preço das peças, informa-se que em um primeiro momento, os tijolos ecológicos custam cerca de 3 vezes mais que os tijolos cerâmicos convencionais. Entretanto, após a utilização dos blocos, ao fim da obra, é possível uma economia de cerca de 40% no valor da mesma, uma vez que possibilita a economia de materiais, a mão-de-obra não precisa ser especializada, não necessita de fôrmas para vigas e pilares, já que são executadas dentro dos furos das peças e não precisa de revestimento. Sendo assim, a longo prazo, os tijolos ecológicos representam melhor custo-benefício em relação aos blocos cerâmicos.

Apesar de não passar pelo processo de queima durante sua produção, os tijolos ecológicos utilizam cimento como matéria-prima, material este que passa pela queima em sua própria fabricação. Conforme contato com a empresa InterCement, indústria brasileira de

cimentos e derivados, o tijolo CPV – ARI, adotado na produção de tijolos ecológicos, possui uma taxa geral de 50% de emissão de CO<sub>2</sub>, considerando o ciclo total de produção do material, desde a extração da matéria-prima, até o ensacamento.

Uma vez que para cada unidade de tijolo de ecológico utiliza-se aproximadamente 0,1428 kg de cimento, a produção de CO<sub>2</sub> é de 0,0714 kg. Conforme Stachera Jr(2008), são emitidos 0,95 kg de CO<sub>2</sub> por unidade de tijolo cerâmico produzido. Sendo assim, estima-se que para cada unidade de tijolo ecológico produzida, são emitidos cerca de 92,48% a menos de CO<sub>2</sub>, em relação à produção de uma peça cerâmica.

Em se tratando da qualidade da peça, informa-se que a parede de tijolos ecológicos foi aprovada no teste de impacto de corpo duro e corpo mole, conforme NBR 15575 -4 (ABNT, 2013), considerando que o rejunte das peças teriam evitado as quebras nas quinas dos blocos, e que a trinca posterior que surgiu após o impacto de corpo mole de 360 J, não compromete o estado limite de serviço da parede.

As peças também foram aprovadas no teste de absorção de água, conforme NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012). Para fins comparativos realizou-se também o teste em tijolos cerâmicos, atendendo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005) e NBR 15270-3 (ABNT, 2005), que também obteve a aprovação. Entretanto afirma-se que as peças ecológicas apresentaram um índice de absorção de 11,01%, valor este inferior ao índice cerâmico, de 19,04%. Ressalta-se que blocos com elevado índice de absorção tendem a reduzir a resistência à compressão e apresentarem porosidade, portanto, os tijolos ecológicos se sobressaem nesse quesito.

Por fim, realizou-se o teste de resistência a compressão, tanto de tijolos ecológicos, quanto de tijolos cerâmicos, cada um conforme a norma regulamentadora que o rege. Ambos não atingiram os parâmetros estabelecidos em norma, entretanto afirma-se que os tijolos ecológicos apresentaram cerca de 1,81 MPa de média, e os tijolos cerâmicos 0,41 MPa, portanto os tijolos solo-cimento comprovadamente são mais resistentes. Salienta-se ainda, que os mesmos se aproximaram mais de atender os limites da norma, uma vez que o índice para tijolos ecológicos é de 2,0 MPa e para tijolos cerâmicos 1,5 MPa.

Ressalta-se a importância pela busca de alternativas que tornem os tijolos ecológicos analisados mais resistentes, para que os mesmos ao menos atendam aos requisitos previstos em norma. Sugere-se atenção às características dos solos a serem utilizados, à dosagem de cimento, ao procedimento de prensagem e cura, entre outros (BETSUYAKU, 2015).

Através das pesquisas, análises, visitas e informações prestadas pelos profissionais consultados, identificaram-se os benefícios de qualidade, assim como ambientais, da utilização de tijolos ecológicos, como substituição de tijolos cerâmicos convencionais.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Posteriormente a serem analisados todos os dados fornecidos por este projeto, assim como o resultado dos testes realizados, possibilitou-se identificar os benefícios do emprego de tijolos ecológicos, em especial a alternativa de mitigação de impactos ambientais e o melhor custo-benefício do material.

Mediante as vantagens ressaltadas torna-se importante difundir o uso das peças, atualmente ainda não muito utilizadas, no mercado da construção civil, principalmente visando o emprego da sustentabilidade na área. Ressalta-se a relevância do assunto, uma vez que a indústria da construção civil é hoje uma das principais consumidoras de recursos naturais e geradora de resíduos (ORTEGA, 2014).

Apresenta-se como alternativa, a inserção mais frequente e aprofundada do assunto em ambientes acadêmicos, visando permitir a compreensão dos benefícios do material, uma vez que a principal causa da não adoção dos tijolos solo-cimento é a falta de conhecimento a cerca do mesmo.

É importante, que principalmente, os novos profissionais da área de construção civil, passem a conhecer os benefícios, em especial a longo prazo, da adoção do material. Para isso, propõe-se a realização de cursos, seminários e palestras, que salientem as características do material, retratem as facilidades de seu processo produtivo, informem seus melhores índices de resistência a compressão e absorção de água, expliquem a possibilidade de economia ao final da obra, principalmente pelo alto valor inicial do produto, e indiquem as prerrogativas ambientais geradas pelo uso dos tijolos ecológicos.

A empresa analisada já conta com procedimentos semelhantes, fornecendo em sua empresa a ministração de cursos e palestras a respeito do assunto.

Portanto, ressalta-se mais uma vez a necessidade de propagação das vantagens do material, visando o aumento da popularidade dos tijolos ecológicos, e conseqüentemente seu efetivo uso como alternativa sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim Técnico: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland –BT-106**. São Paulo, 2002. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2018.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

ABELPRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

ABNT – 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, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11798**: Materiais para base de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: Solo cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: Solo cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270:1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270:3**: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16096:** Solo cimento – Determinação do grau de pulverização – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492:** Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação a resistência a compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

AQUINO, F. K. M. et al. **A utilização do tijolo ecológico com uma alternativa nas construções sustentáveis.** São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://singep.org.br/6singep/resultado/552.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

ARAÚJO, Geroge André Barbosa. **Contribuição ao Estudo das Propriedades de Argamassa com Saibro da Região de Maceió (AL) para revestimentos.** Porto Alegre, 1995. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7853/000558443.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

ARRAES, R. de A. et al. **Causas do Desmatamento no Brasil e seu Ordenamento no Contexto Mundial.** Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 119-140, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/resr/v50n1/a07v50n1>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BARBOSA, H. M. B. et al. **Tijolo ecológico: alternativa sustentável para construção.** Ji-Paraná, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/2-4-PB%20(1).pdf>. Acesso em: 25 mai. 2018.

BETSUYAKU, Renato. Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea. Volta Redonda, 2015. Disponível em: <[http://web.unifoa.edu.br/portal\\_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/renato\\_yochio.pdf](http://web.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/renato_yochio.pdf)>. Acesso em 12 abr. 2018.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Emenda Constitucional nº 91, de 2016. Brasília, 1988.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Câmara dos deputados.** Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Câmara dos deputados.** Brasília, DF, 1981.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA N° 1, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA N° 305, de 5 de julho de 2002**. Brasília, DF, 2002.

BRILHANTE, Ogenis. **Gestão e avaliação da poluição, impacto e risco na saúde ambiental**. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz, 1999. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/ffk9n/pdf/brilhante-9788575412411-03.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENSÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. São Paulo, 2014.

CECCONELLO, Vanessa. O estudo de impacto ambiental. **Direito & Justiça**, Rio Grande do Sul, v. 35, n. 2, p. 137-147, 2009. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fadir/article/view/8247/6235>>. Acesso em 06 mar. 2018.

CORDEIRO, C. R. et al. **Sustentabilidade na fabricação do tijolo solo-cimento: estudo comparativo com blocos convencionais**. Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível: <[http://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/140/3/tcc\\_Cristine%20Cordeiro\\_Vanessa%20Machado.pdf](http://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/140/3/tcc_Cristine%20Cordeiro_Vanessa%20Machado.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2018.

COSTA, Bruno. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/BrunoLuisDeCarvalhoDaCosta.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/BrunoLuisDeCarvalhoDaCosta.pdf)>. Acesso em: 02 mar. 2018.

COSTA, D. V. Z. et al. **III-21- Descrição do Processo Produtivo do tijolo ecológico modular a partir da reutilização de resíduos sólidos na construção civil**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://servicos.cabo.pe.gov.br/pners/CONTE%20C3%9ADO%20DIGITAL/RES%20C3%8DDUOS%20DA%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20CIVIL/TIJOLO%20ECOL%20C3%93GICO%20MODULAR%20&%20RCC.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

DAPPER, Steffani. **Estudo da Associação dos efeitos da poluição do ar na saúde da população de Canoá/RS**. Santa Maria, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8412/DAPPER,%20STEFFANI%20NIKOLI.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 mai. 2018

FEARNSIDE, Philip. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências**. Amazonas, v. 1, n. 1, 2005. Disponível em: <[http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2005/Desmatamento%20historia-Megadiversidade.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2005/Desmatamento%20historia-Megadiversidade.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2018.

FERREIRA, D. C. et al. **Degradação ambiental ocasionada pela construção civil no município de Natal /RN: Estudo de caso de Vila de Ponta Negra**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:



<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_stp\\_077\\_542\\_11232.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_stp_077_542_11232.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2018.

FERREIRA, Ericson. **Levantamento dos fornos utilizados nas olarias do Vale do Assú/RN**. Angicos, 2012. Disponível em: <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC-%20Ericson%20Romualdo%20Fonseca%20Ferreira.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

FIAIS, B. B. et al. **Construção sustentável com tijolo ecológico**. Araçatuba, 2017. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/2559-3253-1-PB.pdf>>. Acesso em 27 abr. 2018.

FIEMG – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENT AIS/guia\\_ceramica.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENT AIS/guia_ceramica.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2018.

FLORÊNCIO, R. V. S. et al. **ESTUDO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA ORIGINADA NA INDÚSTRIA CERÂMICA**. São Pedro, 2000. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/Docs/TC109-001.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

FRAGA, Y. S. B. et al. **Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil**. Ciências exatas e tecnológicas. Aracajú, v. 3, n. 3, p. 11-24, 2015. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/2882-10759-1-PB.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

FUNTAC – FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE. **Cartilha para produção de tijolo solo-cimento**. Rio Branco, 1999. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/bel85/producaodetijolosolocimento>>. Acesso em: 19 mai. 2018.

GOLDEMBERG, J. et al. **Energia e meio ambiente**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2018.

GRANDE, Fernando. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos, 2003. Disponível em: <[file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/Digital%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/Digital%20(1).pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2018.

GRIGOLETTI, G. de C. et al. **Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do RS**. Paraná, 2002. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002\\_0541\\_550.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_0541_550.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2018.

HOLANDA, R. M. et al. **Cerâmica Vermelha – Desperdício na Construção Versus Recurso Natural Não Renovável: Estudo de Caso nos Municípios de Paudalho/PE e Recife/PE**. Pernambuco, 2011. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/232683-86552-1-PB.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília, DF, Livro 7, 2010. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07\\_sustentabilidadeambienta.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07_sustentabilidadeambienta.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2018.

JACOMETI, Érica. **A extração de argila: uma visão aproximada da realidade desta prática no interior do Paraná**. Matinhos, 2011. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/38495/R%20-%20E%20-%20ERICA%20CAVALCANTI%20JACOMETI.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

LIMA, Rosa. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Campina Grande, 2010. Disponível em: <[http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public\\_375.pdf](http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_375.pdf)>. Acesso em: 03 mar. 2018.

LIMA, S. C. da S. et al. **Tijolos do tipo solo-cimento incorporados com resíduos de borra de tinta proveniente do polo moveleiro de UBA**. Fortaleza, 2015. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_216\\_277\\_26879.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_216_277_26879.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2018.

MACHADO, M. F. et al. **Caracterização do consumo de lenha pela atividade de cerâmica no estado de Sergipe**. São Cristóvão, 2010. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/18912-66863-1-PB.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

MAGALHÃES, Cilene. **ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DOS TIJOLOS CERÂMICOS NA FÁBRICA NOVA SÃO JOSÉ DE ITACOATIARA/AM: UM ESTUDO DE CASO**. Belém, 2016. Disponível em: <<http://ppgep.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertacao2016-PPGEP-MP-CileneFariasBatistaMagalhaes.pdf>> Acesso em: 11 mai. 2018.

MIELI, Priscilla. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003721.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Subsídios à elaboração da 1ª Conferência Nacional de Saúde Ambiental: Plano Nacional de Qualidade do Ar**. Brasília, v. 1, 2009.

MORAIS, M. B. et al. **Análise de viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea**. Montes Claros, 2014. Disponível em: <[http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a138.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a138.pdf)>. Acesso em: 11 mai. 2018.

MOTTA, J. C. S. S. et al. **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <[file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/1038-3565-2-PB%20\(9\).pdf](file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/1038-3565-2-PB%20(9).pdf)>. Acesso em: 19 mai. 2018.

MOTTA, Silvio. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos**. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-842G7C/diserta\\_o\\_silvio\\_motta.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-842G7C/diserta_o_silvio_motta.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

MPF – MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Roteiro de Atuação Desmatamento**. Série Roteiros de Atuação. 2ª Câmara de Coordenação e Revisão. Brasília, DF, v. 7, 2015.

MÜLFARTH, Roberta. **Arquitetura de Baixo Impacto humano e ambiental**. Vol. 1. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Material%20de%20apoio/Conceitos/Tese%20Roberta.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

NASCIMENTO, Waldécio. **Avaliação dos Impactos Ambientais gerados por uma indústria cerâmica típica da região do Seridó/RN**. NATAL, 2007. Disponível em: <[http://www.asabrazil.org.br/images/UserFiles/File/Avaliao\\_dos\\_impactos\\_ambientais\\_gerados\\_por\\_uma\\_industria\\_cramica\\_tpica\\_da\\_regio\\_do\\_Serid-RN\\_dissert\\_2007.pdf](http://www.asabrazil.org.br/images/UserFiles/File/Avaliao_dos_impactos_ambientais_gerados_por_uma_industria_cramica_tpica_da_regio_do_Serid-RN_dissert_2007.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2018.

NETO, Maria. **A ação humana sobre o meio ambiente e o desmatamento na Amazônia**. Barbacena, 2011. Disponível em: <<http://www.unipac.br/site/bb/tcc/tcc-50fdbbd566a30f6c0b08dc8f999ad194.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

OLIVEIRA, Clélia. **Avaliação de solo-cimento reforçado com fibras do coco de babaçu para produção de tijolo modular ecológico**. Marabá, 2011. Disponível em: <<https://femat.unifesspa.edu.br/images/TCCs/2011/TCC-CLELIA-RIBEIRO-DE-OLIVEIRA-2011.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

OLIVEIRA, J. R. et al. **Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento**. Mato Grosso, 2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/1370-4091-1-PB.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

OLIVEIRA, M.C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas brancas e de revestimento**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <[file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/p+1\\_ceramicas%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/p+1_ceramicas%20(1).pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2018.

OLIVEIRA, Talita. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014837.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

ORTEGA, Sebastião Gerson. **Sustentabilidade na Construção Civil: Significados, Práticas e Ideologia**. Londrina, 2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/Carrefour/Downloads/17570-85033-1-PB.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2018.

PINTO, Lucas. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**. Santa Maria, 2015. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1\\_2015/TCC\\_LUCAS%20PINTO.pdf](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2015/TCC_LUCAS%20PINTO.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2018.

PIRES, Ilma. **A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares.** Salvador, 2004. Disponível em: <<https://convallis.com.br/site/wp-content/uploads/2016/02/Fabricar-o-tijolo-ecologico.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

PISANI, Maria. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o Tijolo de solo-cimento.** São Paulo, 2005. 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: 03 mar. 2018.

RIBEIRO, Lincoln. **PROCESSO DE PRODUÇÃO E VIABILIDADE DO TIJOLO MODULAR DE SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO RN.** Mossoró, 2013. Disponível em: <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TCC%20-%20BCT/TCC-%20LINCOLN%20RONYERE%20CAVALCANTE%20RIBEIRO.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

ROSEIRO, M. N. V. et al. **Meio ambiente e poluição atmosférica: o caso da cana de açúcar.** Ribeirão Preto, 2004. Disponível em: <<http://www.ecoa.org.br/arquivos/455009624.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

SAMPAIO, Guilherme. **Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade.** Lorena, 2015. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/1791-5078-1-PB.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2018.

SANTANA, J. do E. S. et. al. **Tijolo ecológico versus tijolo comum: benefícios ambientais e economia de energia durante o processo de queima.** Salvador, 2013. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/II-005.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

SANTOS, T. et al. **Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão.** Manaus, Rev. Geogr. Acadêmica, v. 11, n. 2, p. 157-181, 2017. Disponível em: <<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/4430-18133-1-PB.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

SILVA, F. H. R. F. et al. **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil.** Brasília, 2015. Disponível em: <[http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos\\_up/documentos/8b9d51630665c0b519f6be0fc2663b7e.pdf](http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos_up/documentos/8b9d51630665c0b519f6be0fc2663b7e.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2018.

SILVA, Sandra. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira.** Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/239M.PDF>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

SOARES, Lindolfo. **Utilização de finos de pedreiras em misturas de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso.** São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/810/81040115/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

SOARES, Maxwel. **Gerenciamento dos resíduos gerados na construção civil de um edifício empresarial.** Goiânia, 13ª Edição, n. 13, v. 01, 2017. Disponível em:

<file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/mawuel-araujo-soares-1468212.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2018.

SOUZA, Marcia. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91489/souza\\_mib\\_me\\_ilha.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91489/souza_mib_me_ilha.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 03 mar.2018.

SOUZA, R. C. et. al. **Escala de ringelmann na avaliação da fumaça emitida pela frota de ônibus urbano de Porto Velho, Rondônia.** Porto Velho, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/30984-146229-1-PB.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2018.

SOUZA,V. P.et al. **Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água.** Campos dos Goytacazes, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n331/a1354331.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

SPADOTTO, A. et al. **Impactos ambientais causados pela construção civil.** Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v.2, n.2 , p. 173-180, 2011. Disponível em: <[https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/viewFile/745/pdf\\_232](https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/viewFile/745/pdf_232)>. Acesso em: 06 jun. 2018.

STACHERA JR, Theodozio. **Avaliação de emissões de CO2 na construção civil: Um estudo de caso de habitação de interesse social no Paraná.** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_090\\_554\\_12351.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_090_554_12351.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2018.

TEIXEIRA, F. de M. et al. **O uso de resíduos lignocelulosicos na produção de tijolos de adobe.** 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves, 2012. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/downloads/u4qdw6.pdf>>. Acessoem: 14 mai. 2018.

UNITED NATIONS – GENERAL ASSEMBLY. Report of the world commission on environment and development. Nova Iorque, 1987. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

VALADÃO, I. C. R. P. et al. **Produção de tijolos ecológicos no UGB.** Revista EpistemeTransversalis – UGB, Volta Redonda, v. 8, n. 1, 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/wilkerson/Downloads/147-25-400-1-10-20170825.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2018.

VALENCIANO, Martha. **Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento.** Campinas, 1999. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257543/1/MesaValenciano\\_MarthadelCarm en\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257543/1/MesaValenciano_MarthadelCarm en_M.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2018.

YEMAL, J. A. et al. **Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/8/Yemal\\_JA%20-%20Paper%20-%206B8.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/8/Yemal_JA%20-%20Paper%20-%206B8.pdf)>. Acesso em: 09 mar.2018.