

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN  
MESTRADO EM DESIGN**

**JULYANA DA SILVA LIMA**

**COMPÓSITO DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO: PERSPECTIVAS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS.**

**São Luís - MA  
2019**

**JULYANA DA SILVA LIMA**

**COMPÓSITO DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO: PERSPECTIVAS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão para obtenção do título de Mestre em Design.

**Orientador:** Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

Área de Concentração: Design de Produto  
Linha de Pesquisa: Design e Sustentabilidade –  
Materiais, Processos e Tecnologias.

**São Luís - MA  
2019**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Lima, Julyana.

COMPÓSITO DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO : PERSPECTIVAS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS /  
Julyana Lima. - 2019.

144 f.

Orientador(a): Denilson Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís,  
2019.

1. Bloco. 2. Design de produto. 3. Reciclagem. 4.  
Solo-cimento. I. Santos, Denilson. II. Título.

**JULYANA DA SILVA LIMA**

**COMPÓSITO DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO: PERSPECTIVAS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão para obtenção de título de Mestre em Design.

**Orientador:** Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Denilson Moreira Santos (Orientador)**

Doutor em Química

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

---

**Prof. Dra. Raquel Gomes Noronha (Examinadora)**

Doutora em Antropologia

Universidade Estadual do Rio de Janeiro

---

**Prof. Dr. Wener Miranda T. Santos (Examinador)**

Doutor em Engenharia Química

Universidade Federal de Campina Grande

---

**Prof. Dra. Ingrid Gomes Braga (Examinadora)**

Doutora em Conservação e Restauração de Bens Culturais

Universidad Politécnica de Valencia

**São Luís - MA  
2019**

**Aos meus pais, pelo amor e dedicação ao longo de toda a vida.**

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus que permitiu não apenas a oportunidade de ingressar no mestrado, como também me concedeu as habilidades necessárias para conclusão desta pesquisa. O ar que eu respiro, a capacidade de pensar e a criatividade para solucionar. Tudo vem do Senhor!

Aos meus pais Inaldo e Christianne e querida irmã Natália por não medirem esforços para me incentivar nos desafios e por me apoiarem em todas as circunstâncias. Nunca esqueçam que são o bem mais precioso que eu poderia ter e eu nem precisei conquistar, mas fui imensuravelmente agraciada por Deus. Sempre terão todo o meu amor. E devolvo a vocês meu crescimento profissional e acadêmico, pois é fruto da NOSSA união.

À Daniel, que me auxiliou ao longo de toda a pesquisa. Com paciência, preocupação e engajamento, demonstrou o amor na prática. Agradeço por muitas vezes estar ao meu lado colocando a “mão na massa”, literalmente. Essa conquista é compartilhada contigo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Denílson pela orientação atenciosa, zelosa e compreensiva desde o princípio. Agradeço pela oportunidade de convívio concedida, pela confiança em minha capacidade, pelo apoio ao longo de toda a pesquisa, produção de artigos e congressos. Além disso, obrigada por sua disponibilidade em viabilizar equipamentos, materiais e procedimentos para a conclusão desta pesquisa. Meu coração é grato!

À Prof. Dra. Raquel Noronha que, mesmo sem saber, foi minha co orientadora no curso das disciplinas. Corroborou significativamente para ampliação dos meus conhecimentos em design e provocou um olhar mais crítico e sensível à pesquisa.

Aos meus colegas da turma 2017-2019 que compartilharam tanto dos obstáculos quanto das conquistas na jornada acadêmica. Um abraço especial em Railde, Camila e Mauro que estiveram em diversos momentos mais próximos nas lutas diárias, proporcionando mais leveza e alegria.

À Universidade Federal do Maranhão, coordenação do PPGDg e corpo docente, pela oportunidade de crescer academicamente e profissionalmente através da estrutura e recursos necessários para o andamento da pesquisa. Ao IFMA e SENAI por cederem os laboratórios para realização dos ensaios. Pela atenção das pessoas que estiveram presentes para me auxiliar ao longo da etapa experimental.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro, contribuindo para minha maior dedicação e empenho nos estudos.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem de forma gentil e solícita o convite para avaliar este trabalho e contribuir com ponderações críticas e sugestões futuras para continuidade desta pesquisa.

*“Pois a terra pertence a Deus por causa da criação e a nós por causa da delegação”*

*(John Stott)*

## RESUMO

Em busca de melhorias na problemática habitacional, o governo federal tem investido em programas e políticas públicas para atender as necessidades da população. Neste processo, a indústria da construção civil recorre aos materiais que acarretam impactos negativos ao meio ambiente, como a geração de elevada quantidade de resíduos. Por outro lado, as inovações em elementos construtivos, através dos princípios do design, podem contribuir para a sustentabilidade. Assim, o objetivo da pesquisa é a avaliação técnica de um compósito formado por solo-cimento e resíduos da construção e demolição (RCD), visando a aplicação futura em blocos de vedação para habitações populares na Ilha de São Luís - MA. Desse modo, a pesquisa realiza uma revisão bibliográfica relacionando as temáticas design de produto, materiais e sustentabilidade. Tal relação fundamenta a relevância de estudos de compósitos na área do design que proporcionem a reciclagem de resíduos da construção civil. Para a verificação da hipótese de um material eficiente e sustentável para a realidade local, foram desenvolvidas diferentes composições de solo-cimento-resíduo de construção e demolição (RCD) para confecção de corpos de prova, aos quais são submetidas às análises de propriedades tecnológicas. Seguindo as diretrizes das normas, os ensaios selecionados para esta pesquisa são: análise granulométrica dos solos, ensaio de retração linear, ensaio de resistência à compressão e ensaio de absorção de água. Com os resultados positivos obtidos, concluiu-se a viabilidade de aplicação de determinadas composições para posterior confecção de blocos como alternativa aos blocos cerâmicos tradicionalmente utilizados.

**Palavras-chave:** Bloco. Design de produto. Reciclagem. Solo-cimento.

## ABSTRACT

In search of improvements in housing problems, the federal government has invested in programs and public policies to meet the needs of the population. In this process, the construction industry uses materials that have negative impacts on the environment, such as the generation of high amounts of waste. On the other hand, innovations in constructive elements, through the principles of design, can contribute to sustainability. Thus, the objective of the research is the technical evaluation of a composite formed by soil-cement and construction and demolition residues (CRD), aiming at the future application in sealing blocks for popular dwellings in the Island of São Luís - MA. In this way, the research carries out a bibliographical review relating the themes of product design, materials and sustainability. This relationship supports the relevance of studies of composites in the area of design that provide the recycling of construction waste. For the verification of the hypothesis of an efficient and sustainable material for the local reality, different compositions of soil-cement-construction residue and demolition (CRD) were developed for the preparation of test specimens, which are subjected to the analysis of technological properties. Following the guidelines of the standards, the selected trials for this research are: soil particle size analysis, linear retraction test, compressive strength test and water absorption test. With the positive results obtained, it was concluded the feasibility of applying certain compositions for later confection of blocks as an alternative to the ceramic blocks traditionally used.

**Key words:** Block. Product design. Recycling. Soil-cement.

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1: Domicílios particulares permanentes. ....  | 28  |
| Figura 2: Habitações precárias: Casa de taipa, palafitas e casas improvisadas debaixo da ponte. Fonte: G1 Maranhão. .... | 29  |
| Figura 3: Habitações MCMV. ....  | 30  |
| Figura 4: Injustiça ambiental.....   | 38  |
| Figura 5: Principais certificações ambientais no Brasil.....   | 42  |
| Figura 6: Tripé Sustentável. ....  | 44  |
| Figura 7: Seleção de materiais no Processo de Desenvolvimento de Produtos. ....  | 46  |
| Figura 8: Esferas do Design de Produto. ....   | 52  |
| Figura 9: Classificação dos compósitos. ....   | 54  |
| Figura 10: Fluxograma do Processo de fabricação. ....  | 57  |
| Figura 11: Estrutura em alvenaria de tijolos de solo-cimento. ....   | 59  |
| Figura 12: Recorte do Mapa – Classificação dos solos no Maranhão.....  | 73  |
| Figura 13: Mapa Exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. ....                                       | 74  |
| Figura 14: Solos coletados.....  | 76  |
| Figura 15: Mapa com pontos de coleta. ....   | 77  |
| Figura 16: RCD triturado. ....   | 77  |
| Figura 17: Cimento utilizado em pesquisa. ....   | 78  |
| Figura 18: Destorroamento do solo. ....  | 82  |
| Figura 19: Ensaio de peneiramento - série de peneiras padronizadas e aparelho elétrico de peneiramento. ....             | 83  |
| Figura 20: Trituração e Limpeza do RCD.....  | 84  |
| Figura 21: Granulometria do RCD.....   | 85  |
| Figura 22: Esquema de Variáveis. ....  | 86  |
| Figura 23: Teste visual e manual da massa. ....  | 87  |
| Figura 24: Mistura dos elementos do compósito. ....  | 88  |
| Figura 25: Teste de Retração.....  | 88  |
| Figura 26: Corpos de prova em processo de cura. ....   | 90  |
| Figura 27: Equipamento para ensaio de compressão. ....   | 91  |
| Figura 28: Preparação do ensaio de absorção.....   | 93  |
| Figura 29: Pesagem dos corpos de prova.....  | 93  |
| Figura 30: Teste de retração em mistura solo-cimento. ....   | 98  |
| Figura 31: Ruptura do corpo de prova com maior resistência (P7.40). ....   | 101 |
| Figura 32: Corpo de prova poroso após ruptura.....   | 102 |
| Figura 33: Corpo de prova do Solo 02 denominado P7.60 após ruptura. ....   | 103 |
| Figura 34: Esquema de resultados.....  | 109 |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1: Estimativa do Déficit habitacional geral e por componentes 2007-2012. ...  | 27  |
| Tabela 2: Déficit Habitacional por situação do domicílio e Déficit Habitacional relativo aos domicílios particulares permanentes e improvisados, segundo regiões geográficas, unidades da federação e regiões metropolitanas – Brasil – 2015. .... | 28  |
| Tabela 3: Habitação precária, por situação do domicílio, segundo regiões geográficas, unidades da federação e regiões metropolitanas (RMS) – Brasil – 2015.....  | 29  |
| Tabela 4: Classificação dos Resíduos da Construção Civil – CONAMA 2011 .....   | 63  |
| Tabela 5: Especificações técnicas do cimento CP II Z – 40, da marca Poty.....  | 79  |
| Tabela 6: Classificação das peneiras de RCD .....  | 84  |
| Tabela 7: Traços das composições.....  | 86  |
| Tabela 8: Análise granulométrica – Solo 01 .....   | 94  |
| Tabela 9: Análise granulométrica – Solo 02.....  | 96  |
| Tabela 10: Valores do Ensaio de resistência à compressão simples.....  | 100 |
| Tabela 11: Ensaio de absorção dos compósitos.....  | 105 |
| Tabela 12: Análise Geral dos ensaios tecnológicos.....   | 108 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 1: Análise granulométrica – Solo 01 .....  | 95  |
| Gráfico 2: Análise granulométrica – Solo 02 .....  | 97  |
| Gráfico 3: Ensaio de absorção dos compósitos. .... | 104 |
| Gráfico 4: Ensaio de absorção dos compósitos. .... | 106 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                 |   |
|-----------------|---|
| ABCP            | Associação Brasileira de Cimento Portland   |
| ABNT            | Associação Brasileira de Normas Técnicas  |
| AC              | Argamassa colante   |
| AsBEA           | Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura  |
| AQUA            | Alta Qualidade Ambiental  |
| CAU             | Conselho de Arquitetura e Urbanismo   |
| CC              | Coeficiente de Curvatura  |
| CEPED           | Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia  |
| CIB             | “Conseil International du Bâtiment” ou Conselho Internacional de Construção ou “International Council for Research and Innovation in Building and Construction” |
| CMMAD           | Comissão Mundial para Meio Ambiente e Desenvolvimento   |
| CNU             | Coeficiente de Não Uniformidade   |
| CONAMA          | Conselho Nacional do Meio Ambiente  |
| CP              | Corpo de prova  |
| D <sub>10</sub> | Diâmetro efetivo  |
| FJP             | Fundação João Pinheiro  |
| GBC             | Green Building Council  |
| HIS             | Habitação de Interesse Social   |
| IBGE            | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística   |
| ICSID           | International Council of Societies of Industrial Design   |
| IFMA            | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão   |
| IPEA            | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  |
| IPT             | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  |
| ISAE/FGV        | Instituto Superior de Administração e Economia / Fundação Getúlio Vargas  |
| LEED            | Leadership in Energy and Environmental Design   |
| NBR             | Norma Brasileira  |
| PNAD            | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio  |
| PMCMV           | Programa Minha Casa Minha Vida  |

|       |   |
|-------|---|
| PVC   | Policloreto de vinila                       |
| RCC   | Resíduos da Construção Civil                |
| RCD   | Resíduos de Construção e Demolição          |
| SC    | Solo-cimento                                |
| SENAI | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial |
| UFMA  | Universidade Federal do Maranhão            |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                   | <b>17</b> |
| <b>1.1 Objetivos</b> .....                                   | <b>20</b> |
| 1.1.1 Objetivo geral.....                                    | 20        |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                             | 20        |
| <b>1.2 Hipótese</b> .....                                    | <b>20</b> |
| <b>1.3 Justificativa</b> .....                               | <b>21</b> |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....                          | <b>24</b> |
| <b>2.1 Contexto da pesquisa</b> .....                        | <b>25</b> |
| <b>2.1.1 Déficit Habitacional do Maranhão</b> .....          | <b>25</b> |
| <b>2.1.2 Impactos da Indústria da Construção Civil</b> ..... | <b>30</b> |
| 2.1.2.1 Questão Ambiental.....                               | 33        |
| 2.1.2.2 Questão Social.....                                  | 35        |
| 2.1.2.3 Sustentabilidade na construção civil.....            | 40        |
| <b>2.2 Design para a Sustentabilidade</b> .....              | <b>43</b> |
| <b>2.3 Materiais no Design de produto</b> .....              | <b>48</b> |
| <b>2.6 Compósitos</b> .....                                  | <b>53</b> |
| <b>2.4 Tijolo de solo-cimento</b> .....                      | <b>55</b> |
| <b>2.5 Resíduos da construção civil</b> .....                | <b>62</b> |
| 2.5.2 Reciclagem: Alternativa Sustentável?.....              | 65        |
| 2.5.3 Resíduos em tijolos de solo-cimento.....               | 68        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                           | <b>71</b> |
| <b>3.1 Materiais</b> .....                                   | <b>72</b> |
| 3.1.1 Matéria-prima.....                                     | 72        |
| 3.1.2 Equipamentos.....                                      | 80        |
| <b>3.1 Métodos</b> .....                                     | <b>80</b> |
| 3.1.1 Preparação do solo.....                                | 82        |
| 3.1.2 Análise granulométrica do solo.....                    | 82        |
| 3.1.3 Preparação do RCD.....                                 | 83        |
| 3.1.4 Traços estudados.....                                  | 85        |
| 3.1.5 Teste de Retração.....                                 | 87        |
| 3.1.6 Confeção dos corpos de prova.....                      | 89        |
| 3.4.7 Ensaio de resistência à compressão simples.....        | 90        |
| 3.4.8 Ensaio de absorção de água.....                        | 92        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>              | <b>94</b>  |
| 4.1      | Ensaio Granulométrico do Solo:             | 94         |
| 4.1.1    | Solo 01 – Arenoso de tonalidade amarela    | 94         |
| 4.1.1    | Solo 02 – Arenoso de tonalidade vermelha   | 96         |
| 4.2      | Teste de Retração do Solo                  | 97         |
| 4.3      | Ensaio de resistência à compressão simples | 99         |
| 4.4      | Ensaio de absorção                         | 104        |
| 4.5      | Análise geral                              | 108        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO</b>                           | <b>110</b> |
|          | REFERENCIAS                                | 113        |

## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade tornou-se palavra-chave em vários setores da indústria, contudo, inúmeras vezes, sem aplicação legítima e coerente ao seu real conceito. O consumo consciente dos recursos naturais tornou-se uma tendência na sociedade atual, de forma que o homem contemporâneo busca assumir as consequências das suas ações no meio ambiente. Tais mudanças de paradigmas e surgimentos de novos conceitos transformaram a economia, produção industrial e gestão dos materiais, sendo evidenciado no número crescente de empresas que se interessam em empregar resíduos no desenvolvimento de seus produtos, visto que o material reciclado tem valor comercial e pode retornar ao mercado (INACIO; ROVER, 2015).

O design, progressivamente, tem se preocupado em corroborar a sustentabilidade de algum modo na sociedade, seja repensando o ciclo de vida dos produtos ou criando materiais inovadores, principalmente os fundamentados nos processos sustentáveis (FARIAS; SANTOS, 2016). Dentre tantos estudos de casos no âmbito científico, é notória a ligação do surgimento de novos materiais ou compósitos a fim de cooperar com soluções à problemática ambiental.

Neste contexto, o design para a sustentabilidade contribui com mudanças sistêmicas, visando os impactos territoriais a nível local e global na concepção, projeto e fabricação de produtos ou serviços. Inúmeros problemas sociais são mitigados consideravelmente quando a sustentabilidade é incluída como via resolutiva. Como Tamborrini (2012) afirma: “desenhar e produzir: ao fazer escolhas e explorar recursos, dever-se-ia ter em mente o território em questão, além de como atender às necessidades reais dos habitantes” (TAMBORRINI, 2012, p. 57).

Assim, a necessidade de incorporar técnicas construtivas com mínimo impacto ambiental e com possibilidade de redução de custos pode conduzir uma solução adequada para o alto índice de déficit habitacional no país, por exemplo. Direcionando o foco ao problema habitacional atual do Maranhão, estudos que proporcionem a reutilização de materiais para a geração de novos materiais na construção civil, também podem auxiliar na produção de moradias com melhor custo-benefício para a população carente.

Segundo a Fundação João Pinheiro, além do elevado déficit absoluto, o Maranhão apresenta-se com o maior déficit relativo – isto é, que dimensiona a carência em relação ao total de domicílios de uma região - entre as unidades da federação: “a região Nordeste foi a região com o maior número de habitações precárias em 2015, totalizando 492 mil unidades. Desse total, 241 mil unidades estavam no Maranhão” (FJP, 2015). As necessidades mínimas de habitação não são atendidas de forma eficiente e, em busca de melhorias na problemática habitacional do país, o governo federal tem investido em programas habitacionais e políticas públicas voltadas para a população de baixa renda.

Todavia, a indústria da construção civil recorre às técnicas construtivas, processos e materiais prejudiciais ao meio ambiente. Conforme o Conselho Internacional de Construção, a indústria da construção civil é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais (MMA, 2016).

Neste contexto, diversos estudos têm avançado para criação ou melhoria de técnicas e materiais da construção civil. Esta pesquisa tem como objetivo a obtenção de um compósito a partir da incorporação dos resíduos da construção civil (RCC), especificamente resíduos de construção e demolição (RCD), como elemento adicional aos materiais tradicionais da composição do tijolo de solo-cimento. Assim, o solo que compõe a tradicional mistura dos tijolos de solo-cimento seria substituído parcialmente por resíduos decorrentes de processos da construção civil - tais como telhas cerâmicas, tijolos cerâmicos, revestimentos e piso cerâmicos -, visando a aplicação futura em alvenarias de habitações populares na Ilha de São Luís – MA. Com isto, busca-se a diminuição da extração intensiva do solo na fabricação em larga escala de tijolos de solo-cimento, uma possível redução de custos na aquisição da matéria-prima e o aproveitamento de resíduos que são descartados indevidamente no meio ambiente.

Alguns fatores justificam a importância de estudos na temática dos compósitos, como a necessidade de inovação tecnológica ou maior consciência ambiental. Por sua vez, essa pesquisa considera a questão ambiental como fator essencial para a inovação. Deste modo, a relevância da sustentabilidade aplicada aos compósitos deve ser incentivada, resultando em contribuição nos estudos em design dos materiais.

Para a produção de tal compósito, ancora-se nas normas brasileiras que norteiam a fabricação de tijolos de solo-cimento, como a ABNT NBR 8491/1984, ABNT NBR 8492/1984 e diretrizes da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Assim, os testes em laboratório realizados validam ou não a hipótese da pesquisa experimental.

O design aliado à sustentabilidade é usado como meio para orientar a pesquisa do compósito em questão, visto que o design em si e seus processos iniciam com a formulação de uma questão geradora, cujo objetivo ou tarefa é desenvolver soluções para ela. O estudo de novos materiais ou compósitos contribui dentro e fora do contexto acadêmico, estimulando o avanço científico e tecnológico em diversos campos do conhecimento, inclusive no design.

O reaproveitamento de resíduos da construção civil em um compósito de solo-cimento engloba o aperfeiçoamento de um material construtivo já categorizado como sustentável: tijolo de solo-cimento. A eficácia da inserção de materiais alternativos no que diz respeito às propriedades físicas e mecânicas dos tijolos, acarretaria a redução dos impactos ambientais e inovação de suas características originais. Além disso, o prolongamento do ciclo de vida dos resíduos de construção ao aplicá-los em novos materiais, favoreceria a redução do volume de entulhos em aterros sanitários ou áreas públicas indevidas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Obter um compósito constituído pela mistura dos materiais do tijolo de solo-cimento e a adição de resíduos de construção e demolição (RCD) através de sua avaliação de viabilidade técnica, visando aplicação futura em blocos não-estruturais de alvenaria para habitações populares na Ilha de São Luís.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Coletar referencial teórico sobre a problemática habitacional no Estado do Maranhão, os principais impactos ambientais da construção civil e a aplicação da sustentabilidade no setor, a relevância do estudo de materiais no campo do design no contexto da sustentabilidade, as características e potencialidades do Tijolo de solo-cimento e dos resíduos da construção civil (RCC), e a breve caracterização de materiais compósitos;
- b) Confeccionar corpos de prova referente aos compósitos com diferentes tipos de solos, além de diferentes granulometrias e percentuais de RCD;
- c) Caracterizar o material compósito através dos testes de desempenho físico e mecânico em laboratório, como: ensaio de absorção de água, ensaio de resistência à compressão simples e ensaio de retração linear;
- d) Analisar e discutir os resultados obtidos, pontuando as melhores composições para o desenvolvimento do material compósito.

## **1.2 Hipótese**

A pesquisa busca verificar a eficiência do material resultante da mistura de solo-cimento e resíduos de construção e demolição (RCD) em compósitos para aplicação futura em habitações populares na Ilha de São Luís, contribuindo para produção de materiais no setor construtivo com possibilidade de reciclagem. Baseando-se na obtenção de sucesso da produção do compósito com solos e RCD

em outros estados do Brasil, a pesquisa busca testar o compósito para a realidade local com suas respectivas particularidades, potencialidades e desafios.

Na construção desta hipótese, a pesquisa é desenvolvida a partir de três variáveis: definição do tipo de solo ideal, a melhor granulometria de RCD e o percentual adequado de RCD para o compósito. Assim, a pesquisa considera as variáveis para delimitar os estudos e alcançar os objetivos traçados.

### **1.3 Justificativa**

A escolha do tema da pesquisa justifica-se pela primordialidade no desenvolvimento de alternativas sustentáveis que auxiliem a redução do déficit habitacional do Maranhão. Atualmente, existe também uma ausência de consciência ambiental na produção massiva de habitações. Simultaneamente, o crescimento exacerbado das cidades acarreta um significativo impacto ambiental em diversas áreas. Tais problemáticas alertam para a necessidade de construções de edificações eficientes, abrangendo também as habitações populares.

Visto que o foco da pesquisa experimental é a avaliação de um compósito específico, vale justificar a escolha dos materiais de sua composição. Pode-se destacar algumas premissas que fundamentam o interesse pela composição solo-cimento, apresentando três aspectos: ambiental, econômica e técnica. A proposta de uma habitação popular não deveria enquadrar-se apenas na questão econômica, isto é, adoções de soluções de baixo custo. Desse modo, deve englobar a melhoria da qualidade de vida e a preservação do meio ambiente. Pesquisas realizadas anteriormente comprovam que o solo-cimento contribui significativamente na redução da degradação ambiental (GRANDE, 2003; FERRAZ, 2004; SOUZA, 2006; MAGALHÃES, 2010). Casanova (1988) assegura que na produção do tijolo solo-cimento dispensa-se o cozimento, isto é, o processo imprescindível de queima dos tijolos na fabricação dos tijolos cerâmicos. A ausência de necessidade do cozimento impede a queima de 12 árvores de médio porte ou 170 litros de óleo a cada milheiro de tijolos, visto somente no aspecto desta fase de fabricação.

Além disso, focando no aspecto econômico, trata-se de uma realidade atual e emergencial a necessidade por alternativas de habitações de baixo custo para a

população carente. Segundo Conciani (2002), a utilização do tijolo de solo-cimento gera redução de custos na construção de habitações populares, podendo atingir até 40% do custo total da edificação. Isto decorre da possibilidade de racionalização e rapidez do processo construtivo através do uso de tijolos modulares, economia de outros materiais construtivos e de mão-de-obra qualificada, eliminação dos rasgos nas paredes para a passagem de tubulações elétricas e hidráulicas, além da redução do consumo de argamassas de assentamento e de regularização (SOUZA, 2006).

Quanto ao aspecto técnico, a alvenaria de tijolos de solo-cimento, em razão de sua otimização de mão de obra e velocidade de execução, pode vir a ser um dos sistemas construtivos sustentáveis mais viáveis para o segmento da construção civil de habitações populares. Neves (1989) afirma que o tijolo de solo-cimento, sendo este fabricado por sistema produtivo manual ou automatizado, constitui um elemento de viabilidade comprovada em diversos programas habitacionais realizados tanto por mutirão como por administração direta, em decorrência da mão de obra já familiarizada com o sistema construtivo em alvenaria por tijolos cerâmicos e pela facilidade de assimilação dos operadores dos equipamentos utilizados na produção.

Aliando as vantagens existentes na fabricação e aplicação de tijolos de solo-cimento, propõe-se a incorporação dos resíduos da construção civil (RCC) como forma de reduzir a extração do solo em grandes proporções e contribuindo para a reciclagem de resíduos. Do mesmo modo, as justificativas para reaproveitamento de RCC em compósitos englobam os aspectos econômicos, ambientais e técnicos. E cada um deles serão apresentados adiante neste trabalho no item “2.5.1 Resíduos em tijolos de solo-cimento”. De forma geral, a reciclagem e o reaproveitamento do RCC têm se destacado como alternativa ligada aos conceitos de sustentabilidade, embutindo valor econômico nos materiais descartados nas obras de engenharia.

É importante ressaltar que apesar da existência de estudos que comprovem a viabilidade técnica do solo-cimento e RCC em outros locais, busca-se a produção com matéria-prima local (solo), podendo esta ser determinante para a eficácia do compósito. O solo-cimento e o RCC constituem-se potenciais alternativas para a inovação de materiais construtivos como aporte à resolução da problemática habitacional na Ilha de São Luís - MA. Ao agregar materiais disponíveis ou com

possibilidade de reciclagem, o compósito proposto nesta pesquisa é coerente com as justificativas apontadas.

A seguir, apresenta-se o percurso da pesquisa: Capítulo 01 – Introdução e Objetivos, onde é realizada a apresentação inicial da pesquisa; Capítulo 02 – Referencial teórico, com o aprofundamento de todas as temáticas que fundamentam a realização da pesquisa; Capítulo 03 – Materiais e Métodos, com a explanação dos equipamentos, metodologias, materiais e normas utilizadas para a confecção do compósito; Capítulo 04 – Resultados e Discussão, expondo a análise dos resultados obtidos com os testes realizados em corpos de prova; e Capítulo 05 – Conclusões, onde são apresentadas as considerações finais da pesquisa e proposições futuras.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para fundamentar teoricamente esta pesquisa, bem como as soluções propostas, destacam-se abaixo os principais tópicos que são apresentados neste capítulo. Os temas tratados são essenciais para a compreensão da problemática abordada e para a forma como o design contribui na reformulação de práticas industriais no setor da construção civil. Desse modo, segue abaixo:

- Contexto: Caracterização dos problemas periféricos que conduzem ao objetivo central da pesquisa. O problema habitacional do Estado do Maranhão e os impactos negativos da indústria macro da construção civil são apresentados como oportunidade para intervenções emergenciais na fabricação de produtos construtivos.
- Design para a sustentabilidade: Uma discussão teórica sobre a relação do design e sustentabilidade, bem como a importância da perspectiva ambiental nas soluções concebidas por designers.
- Materiais no Design de Produto: A forma como o design de produto se apropria de forma eficaz da temática dos materiais e como estes podem proporcionar inovações no universo do design.
- Compósitos: Elucidação do conceito, particularidades e aplicações, além da importância de repensar os materiais para criação de novos produtos.
- Tijolo de solo-cimento: Breve descrição do histórico, fabricação e vantagens/desvantagens do material construtivo. Além da explanação do tipo de solo e cimento adequados para a composição.
- Resíduos da construção civil: Explanação do panorama geral dos resíduos no Brasil e no Maranhão - especificamente resíduos de construção e demolição (RCD) -, assim como a temática da reciclagem de resíduos em tijolos de solo-cimento.

## **2.1 Contexto da pesquisa**

A pesquisa surge diante de um panorama problemático presente no país: A ausência de acesso a moradias de qualidade para um número elevado de cidadãos, bem como a ausência de gestão de resíduos decorrentes de construções de pequeno a grande porte. Unindo duas temáticas divergentes e sem vínculos aparentes, buscase um meio de propor soluções que mitiguem os danos causados por ambos os lados.

Assim, um elemento construtivo de baixo custo e tecnicamente viável resultante do aproveitamento de determinados resíduos da construção civil torna-se um elo entre as problemáticas desta pesquisa. É necessário explanar o panorama do déficit habitacional para que se compreenda a gravidade e necessidade imediata de soluções. Da mesma forma, a apresentação dos impactos gerais do setor da construção civil torna-se relevante para justificar a escolha da reciclagem dos resíduos de demolição e construção em um compósito.

### **2.1.1 Déficit Habitacional do Maranhão**

No final dos anos 90, a América Latina possuía aproximadamente de 30 a 50% das famílias classificadas como pobres e suas habitações como escassamente subsidiadas, constituindo o setor informal, enquanto que 15 a 30% das habitações eram carentes, sem contar com apoio ou subsídios habitacionais, fazendo com que ambas as classes utilizassem a autoconstrução para se valer do direito à moradia (SALAS, 1998).

Para a região da América Latina, na qual os tempos de bonança da década passada ajudaram milhões de pessoas a chegar à classe média, o desafio permanece grande, pois a região já passou por cinco anos de desaceleração econômica, de acordo com percentuais do Banco Mundial (2016). Portanto, esta classe vulnerável à estagnação econômica está mais sujeita a cair na pobreza novamente do que a classe média.

Desde o século XX até a atualidade, a questão habitacional passa a ter cada vez mais visibilidade, destacando-se como um dos problemas urbanos mais emergentes (MORAES; SANTANA, 2003). O Brasil, devido suas características

continentais e as diferenças naturais, continua desenvolvendo situações desiguais em seu território, amplificado pelo crescimento das cidades aliado aos problemas econômicos e estruturais. A difusão desses problemas transpassa os vários setores da sociedade e produzem um ambiente urbano com alta segregação sócio espacial e econômica.

O quadro habitacional contemporâneo brasileiro aponta para tais disparidades, produto de anos de conflitos pela moradia e pelo direito ao solo urbano. Várias cidades possuem boa parte da população habitando em imóveis ilegais, localizados em favelas ou loteamentos clandestinos. Ao longo de décadas, o Estado buscou solucionar o problema habitacional com a construção de conjuntos habitacionais e pesquisas em inovações tecnológicas, sendo que ambos trouxeram resultados positivos à realidade local.

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2013), o déficit habitacional é um dos indicadores na política habitacional com função de informar à sociedade e aos gestores públicos sobre a necessidade de compensação do número de moradias existentes, sendo estas incapazes de atender dignamente aos moradores, em razão de sua precariedade ou do desgaste trazido pelo uso ao longo do tempo, assim como sobre a necessidade de melhorar as moradias existentes, principalmente nos casos em que famílias estão em situação de coabitação involuntária. Os dados de déficit habitacional, adotados pelo Ministério das Cidades como base para acompanhamento da política nacional de habitação em todo o país, vêm sendo realizado e atualizado pela Fundação João Pinheiro (FJP).

O conceito de déficit habitacional, segundo a FJP, não se refere apenas à necessidade de expansão de habitações de interesse social. O termo déficit habitacional, consoante ao conceito desenvolvido pela FJP (2015), abrange quatro componentes: domicílios precários; coabitação de mais de uma família em um mesmo domicílio; ônus excessivo com locação para famílias com renda domiciliar de até 3 salários mínimos em imóveis urbanos; e domicílios alugados com adensamento excessivo, isto é, mais de três moradores por cômodo usado como dormitório (IPEA, 2013).

O IPEA apresentou estimativas do déficit habitacional brasileiro no período de 2007 a 2011, calculado a partir de dados das PNADs 2007, 2008, 2009 e 2011, preponderados a partir do Censo 2010 (IBGE, 2012). Além do déficit total, foram feitas ainda as estimativas para os quatro elementos que compõem o conceito de déficit habitacional (geral e por componentes), para as áreas urbanas e rurais, para as unidades da federação e para regiões metropolitanas disponíveis na amostra da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios).

De acordo com a Tabela 1 a seguir, houve redução sistemática do indicador do déficit habitacional entre os anos de 2007 e 2012, restando de 5,59 milhões de domicílios em 2007 para 5,24 milhões de domicílios em 2012. A redução do déficit ocorreu concomitantemente à melhoria do número total de domicílios, demonstrado também pela redução percentual de 0,8% no componente de habitações precárias no período de cinco anos.

Tabela 1: Estimativa do Déficit habitacional geral e por componentes 2007-2012.

|                                   | 2007       | 2008       | 2009       | 2011       | 2012       |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Número de domicílios</b>       | 55.918.038 | 57.703.161 | 58.684.603 | 61.470.054 | 62.996.532 |
| <b>Déficit habitacional</b>       | 5.593.191  | 5.191.565  | 5.703.003  | 5.409.210  | 5.244.525  |
| <b>Precárias</b>                  | 1.244.028  | 1.139.729  | 1.074.637  | 1.163.631  | 870.563    |
| Rústico                           | 1.135.644  | 1.039.445  | 1.005.875  | 1.034.725  | 785.887    |
| Improvvisados                     | 108.384    | 100.284    | 68.762     | 128.906    | 84.676     |
| <b>Coabitação</b>                 | 2.307.379  | 2.032.334  | 2.315.701  | 1.808.314  | 1.757.160  |
| Cômodos                           | 214.476    | 190.213    | 224.120    | 237.914    | 178.433    |
| Conviventes com intenção de mudar | 2.094.410  | 1.842.670  | 2.094.953  | 1.571.581  | 1.579.263  |
| <b>Excedente aluguel</b>          | 1.756.369  | 1.735.474  | 2.020.899  | 2.110.409  | 2.293.517  |
| <b>Adensamento aluguel</b>        | 526.900    | 500.925    | 539.582    | 512.925    | 510.197    |
| <i>Estimativas relativas</i>      |            |            |            |            |            |
| <b>Déficit habitacional</b>       | 10,00%     | 9,00%      | 9,72%      | 8,80%      | 8,53%      |
| <b>Precárias</b>                  | 2,22%      | 1,98%      | 1,83%      | 1,89%      | 1,42%      |
| <b>Coabitação</b>                 | 4,13%      | 3,52%      | 3,95%      | 2,94%      | 2,86%      |
| <b>Excedente aluguel</b>          | 3,14%      | 3,01%      | 3,44%      | 3,43%      | 3,73%      |
| <b>Adensamento aluguel</b>        | 0,94%      | 0,87%      | 0,92%      | 0,83%      | 0,83%      |

Fonte: IBGE/PNAD 2007-2012

No Nordeste do país, a maioria dos domicílios apresentam péssimas condições de moradia. Segundo dados do IBGE (2010), em 2001 o Estado Maranhão, composto por 217 municípios, possuía 1.073,00 (1000 domicílios/unid) considerados como domicílios próprios e, em 2009 o número subiu para 1.375,00 unidades. Conforme gráfico da Figura 4 abaixo:

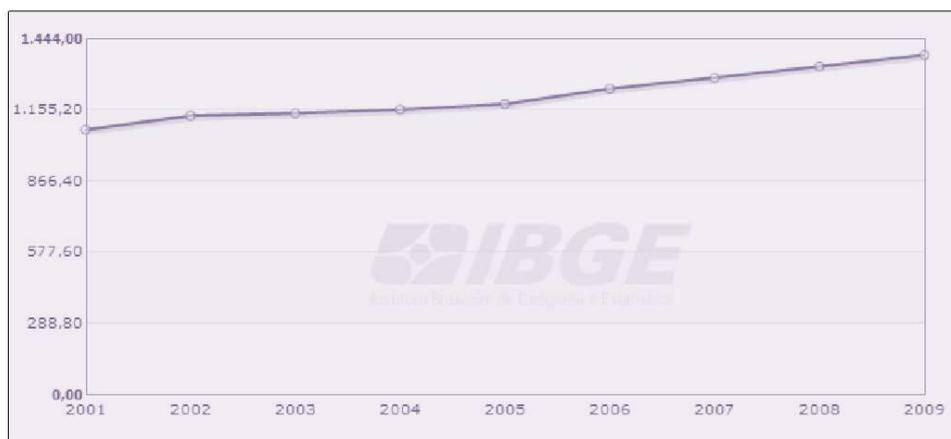


Figura 1: Domicílios particulares permanentes.

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio 2001/2009.

Conforme dados da FJP (2018), o estado do Maranhão apresenta-se em quinto lugar dentre os estados com maior déficit, com 392 mil moradias consideradas em déficit habitacional (Tabela 2). O Maranhão se destaca ainda como a Unidade da Federação com maior déficit habitacional relativo do país, visto que em 2015, este representava 20% do estoque de domicílios do estado (FJP, 2018).

Tabela 2: Déficit Habitacional por situação do domicílio e Déficit Habitacional relativo aos domicílios particulares permanentes e improvisados, segundo regiões geográficas, unidades da federação e regiões metropolitanas – Brasil – 2015.

| Especificação       | Total            | Urbana           | Rural          | Total Relativo |
|---------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| <b>Nordeste</b>     | <b>1.971.856</b> | <b>1.442.690</b> | <b>529.166</b> | <b>11,0</b>    |
| Maranhão            | 392.308          | 172.333          | 219.975        | 20,0           |
| Piauí               | 104.215          | 74.410           | 29.805         | 10,9           |
| Ceará               | 302.623          | 224.740          | 77.883         | 10,7           |
| <i>RM Fortaleza</i> | <i>147.111</i>   | <i>144.057</i>   | <i>3.055</i>   | <i>12,3</i>    |
| Rio Grande do Norte | 115.558          | 97.833           | 17.724         | 10,6           |
| Paraíba             | 123.358          | 109.275          | 14.083         | 9,8            |
| Pernambuco          | 285.251          | 240.811          | 44.440         | 9,6            |
| <i>RM Recife</i>    | <i>130.142</i>   | <i>127.299</i>   | <i>2.843</i>   | <i>10,2</i>    |
| Alagoas             | 96.669           | 79.829           | 16.840         | 9,2            |
| Sergipe             | 90.173           | 74.829           | 15.344         | 12,8           |
| Bahia               | 461.700          | 368.630          | 93.071         | 10,1           |
| <i>RM Salvador</i>  | <i>139.173</i>   | <i>137.016</i>   | <i>2.158</i>   | <i>9,2</i>     |

Fonte: Fundação João Pinheiro, 2018.

No entanto, esses valores não validam condições de qualidade nos domicílios. Considerando o número de habitantes e de domicílios no Maranhão, no ano de 2013, 21,2% do total não apresentavam condições dignas aos moradores (IPEA, 2013). Em

2007, este percentual era de 28%, mostrando uma redução comparando ao índice sucessor, mas não anula as condições de habitação precárias. Contudo, segundo dados da FJP (2018), o Maranhão ainda ocupa o 1º lugar no Nordeste na categoria de habitações precárias (Tabela 3).

Tabela 3: Habitação precária, por situação do domicílio, segundo regiões geográficas, unidades da federação e regiões metropolitanas (RMS) – Brasil – 2015.

| Especificação       | Urbana         | Rural          | Total          |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Nordeste</b>     | <b>115.709</b> | <b>382.670</b> | <b>498.379</b> |
| Maranhão            | 47.357         | 193.921        | 241.278        |
| Piauí               | 10.132         | 15.195         | 25.327         |
| Ceará               | 13.900         | 59.668         | 73.568         |
| <i>RM Fortaleza</i> | 10.967         | 2.477          | 13.444         |
| Rio Grande do Norte | 3.533          | 6.357          | 9.890          |
| Paraíba             | 2.586          | 9.051          | 11.637         |
| Pernambuco          | 5.279          | 28.578         | 33.857         |
| <i>RM Recife</i>    | 2.202          | 1.652          | 3.854          |
| Alagoas             | 2.516          | 10.067         | 12.583         |
| Sergipe             | 734            | 5.865          | 6.599          |
| Bahia               | 29.672         | 53.968         | 83.640         |
| <i>RM Salvador</i>  | 5.375          | 672            | 6.047          |

Fonte: Fundação João Pinheiro, 2018.

O Maranhão também é o estado que possui maior índice de casas de taipa e de palha, bem como o estado com menor índice de habitações com esgotamento sanitário (IBGE, 2014).



Figura 2: Habitações precárias: Casa de taipa, palafitas e casas improvisadas debaixo da ponte. Fonte: G1 Maranhão.

As classes menos favorecidas da sociedade buscam alternativas de moradias (Figura 5). Como exemplo real dessa realidade, destaca-se a cidade de São Luís - MA, em que várias modalidades de moradias são identificadas: ocupações irregulares (“invasões”), palafitas, casas improvisadas, cortiços, casas de taipa, etc.

O Governo Federal reafirmou seu compromisso com a universalização do acesso à moradia digna com o lançamento do *Programa Minha Casa Minha Vida* (PMCMV), cujo objetivo é o incentivo à produção e a aquisição de novas unidades habitacionais; a requalificação de imóveis urbanos; a produção e a reforma de habitações rurais para famílias com renda mensal de até R\$ 5.000,00. Estimulando a produção de Habitação de Interesse Social (HIS) pelo mercado privado formal, o PMCMV apresenta-se como uma estratégia para contribuir com a redução do déficit habitacional, promovendo novos empregos e aumento da renda por meio do aumento dos investimentos no setor da construção civil. Assim, ocorre a inserção de uma parcela da população no mercado formal da habitação, além de proporcionar a distribuição de renda e inclusão social.

A seguir, apresentam-se algumas habitações padrões da modalidade MCMV (Figura 6): empreendimentos habitacionais horizontais ou multifamiliares verticais.



Figura 3: Habitações MCMV.

Fonte: <http://www.minhacasaminhavidainscricao.com/>

Após uma contextualização geral sobre a problemática habitacional no país e no Estado do Maranhão, prossegue-se com apontamentos sobre os impactos da indústria da construção civil no âmbito ambiental e social, bem como os avanços do mesmo setor industrial no campo da sustentabilidade.

### **2.1.2 Impactos da Indústria da Construção Civil**

Segundo dados do Conselho de Arquitetura e Urbanismo - CAU (AsBEA, 2012), no ano de 2007 a população humana efetivamente passa a habitar em um “planeta urbano”, visto que mais da metade da população mundial passou a viver nas cidades. Isto é notório nos países em desenvolvimento, cujo processo de urbanização

tem se intensificado em proporções cada vez maiores. Contudo, também é evidente nas inúmeras grandes conurbações do planeta, uma quantidade expressa em milhares de indivíduos sobrevivendo em condições inadequadas. A apropriação do espaço urbano por parte significativa dessa parcela da população mundial tem ocasionado a destruição de áreas verdes, afetado mananciais e promovido a ocupação de áreas de risco.

Alguns percentuais sobre o crescimento das cidades são alarmantes e impõem a necessidade de uma análise urgente de procedimentos dos setores responsáveis privados e públicos. O crescimento avassalador das cidades tem elevado o consumo dos recursos naturais a níveis que excedem os limites, o que resulta no aumento da poluição e geração de resíduos. As cidades com todas as suas atividades, indústrias, serviços e transportes, consomem por volta de 40% dos recursos naturais extraídos e 50% da produção de energia, contribuindo com aproximadamente 50% dos resíduos sólidos, e sendo responsáveis por até 75% das emissões de gás carbono (AsBEA, 2012).

No Brasil tem ocorrido um ciclo de desenvolvimento econômico sustentado pela construção civil. Em decorrência do crescimento urbano, a construção civil cresce exponencialmente, suscitando uma grande preocupação com relação ao meio-ambiente, já que vários estudos apresentam o setor da indústria da construção civil como uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, incluindo impactos ambientais substanciais. Em diversos contextos, alguns destes impactos afetam decisivamente o ambiente atual e futuro devido ao seu caráter negativo.

Segundo John (2004), estima-se que a construção civil utiliza algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. Consome ainda aproximadamente 2/3 da madeira natural extraída e não ocorre o manejo adequado da maioria das florestas (JOHN, 2004). Quanto ao consumo de energia empregado tanto no processo de fabricação dos materiais utilizados na construção civil, quanto na execução em canteiro de obras, verificam-se elevados índices. Da mesma forma, a escassa água do planeta também é comprometida pelos investimentos na expansão da construção civil. O consumo de água pela construção civil no Brasil está em torno de 16% de toda a água consumida no país, enquanto o consumo mundial sobe para 20% (ISAE/FGV, 2015).

Para a produção de materiais construtivos, uma enorme quantidade de energia também é consumida, porém poucos dados estão disponíveis no Brasil. Sabe-se que o consumo mundial de energia elétrica pelo setor da construção civil representa cerca de 35%. No Brasil, se esse consumo for equivalente ao mundial, representará um consumo superior ao que é produzido pela hidrelétrica de Itaipu (Brenner, 2015).

Dentre os maiores impactos da construção civil ao ambiente, sendo estes gerados de forma direta ou indiretamente por suas atividades, destaca-se o alto consumo de energia, a geração de resíduos, perdas e desperdícios no processo construtivo, poluição ambiental e devastadora extração de recursos naturais (vegetação, água, etc).

No entanto, a atual dinâmica do mundo capitalista torna a indústria da construção civil como indispensável para o desenvolvimento das cidades, servindo como suporte para responder às necessidades sociais e econômicas. Tanto a implantação de infraestrutura (estradas, barragens, linhas de caminho de ferro) como a criação das zonas urbanas (edifícios, habitações, parques) estão intimamente ligadas ao processo de desenvolvimento.

Paiva e Ribeiro (2011) afirmam que para alcançar um desenvolvimento sustentável, as empresas têm que adotar em seus meios de produção medidas de eficiência e de melhor aproveitamento de todos os recursos usados em sua produção. Em canteiros de obras há muito desperdício, quando se poderia usufruir das novas tecnologias para reutilização das sobras/quebras de materiais (reciclagem) ou utilização de materiais que gerem pouco impacto ao meio ambiente (matéria-prima natural).

A economia de custos em construções, sendo este um dos benefícios de algumas soluções consideradas sustentáveis, ocorre com a redução de gastos dos materiais que compõe a construção de uma obra, através do melhor aproveitamento das matérias-primas e da eliminação das perdas (PAIVA; RIBEIRO, 2011).

Considerando a precisão urgente por novos métodos construtivos que causem menor impacto ao meio ambiente, o tijolo de solo-cimento exprime uma possível opção, pois ainda possui um fácil processo de fabricação, favorecendo a redução de custos e prazo de construção (MOTTA; MORAIS; ROCHA, 2014).

### 2.1.2.1 Questão Ambiental

Os desastres ecológicos têm aumentado em número de ocorrência e poder de destruição em vários pontos do planeta terrestre. E a ganância por desenvolvimento e supremacia econômica tem feito que o homem se ancore em setores industriais que aceleram este processo. As problemáticas – aqui apresentadas em três pontos - que levam a uma compreensão maior dos problemas ambientais são elencadas a seguir: 1) a autopercepção do homem como não pertencente ao meio ambiente; 2) a naturalização dos danos industriais no meio ambiente; 3) e o crescimento desproporcional do consumo, das atividades industriais e da própria população.

O primeiro ponto – ou raiz do problema - encontrado consiste na forma como a sociedade se posiciona perante a natureza, colocando-se como meros observadores e atores externos. Segundo Lutzemberg (apud LEWGOY, 1991), o meio ambiente é compreendido como algo externo, como algo desvinculado do ser, embora o homem esteja totalmente e umbilicalmente imerso nele. Além disto, o homem não possui um senso de pertencimento com o meio natural, e quando o tem, tal apropriação é realizada de forma exploratória e não diligente. Esta concepção explica o comportamento alheio e indiferente de grande parcela da humanidade, mesmo diante de tantos acontecimentos naturais catastróficos.

Enriquecendo o debate, pontua-se também um segundo ponto: o descontrole institucional com a modernização do mundo e a conseqüente naturalização dos danos ambientais. A humanidade está exposta a mudanças e processos de transições velozes e profundos como nunca. Se a previsão com o progresso da tecnologia e da ciência era a obtenção de um mundo mais controlado, a realidade atual mostra que os modos de vidas contemporâneos não se tornaram mais seguros e tangíveis. As transformações do clima global e todos os riscos que o acompanham, não só refletem essa falta de comando da ação antrópica como resultam provavelmente da intervenção prejudicial do homem no ambiente (GIDDENS, 2007).

A indústria, como atividade humana predominante, possui uma grande responsabilidade acerca dos efeitos negativos causados no ambiente natural. De forma geral, os danos causados pela indústria em território brasileiro começaram a

ser considerados no século XIX. A forma como tratavam do assunto se assemelha bastante à realidade atual. Com o pressuposto de regular o crescimento industrial, um código de alcance nacional é elaborado em 1809 para refrear os danos negativos provocados pelas indústrias. Entretanto, tratava-se apenas de uma regulamentação de inspiração industrialista, impondo a presença da indústria na cidade com uma fachada de preocupação ambiental e, portanto, naturalizando cada vez mais seus danos. O que antes era considerado intolerável, gradativamente tornou-se tolerável em um curto período.

Conforme Corbin (1991), “o tom alarmista dos químicos do século XVIII desapareceu. Desta vez, o otimismo regia o discurso. Usa-se a noção de incômodo, mais do que de insalubridade. Odores químicos são desagradáveis, mas não são insalubres”. Além disto, as fábricas de produtos químicos tóxicos perderam o caráter de danosas à saúde, visto que se popularizou a ideia de que uma eficiente administração seria suficiente para conter os impactos.

Desde esta época já havia uma convicção por parte dos cientistas de que os danos ambientais deveriam ser totalmente controlados a longo prazo com o desenvolvimento da ciência, mais especificamente da química. Desse modo, nota-se uma gradual mudança na mentalidade dos administradores, que foi refletida também na legislação vigente, isto é, a crescente tolerância perante as atividades poluidoras do setor industrial.

O terceiro ponto remete ao crescimento desproporcional e desordenado do consumo, das atividades industriais e da própria população. Na segunda metade do século XX, tais fatos chamaram a atenção acerca do futuro da vida no planeta (LATOUCHE, 1996). Neste contexto, tanto a industrialização quanto o paradigma do consumo têm ocasionado distúrbios na dinâmica natural do meio ambiente.

Atualmente, a ausência de controle no manejo dos recursos naturais e de um planejamento estratégico de intervenção socioambiental contribuem diretamente com o aumento dos problemas ambientais em escala global e local. Enfatiza-se ainda os diversos tipos de poluição devido ao consumo de recursos além da capacidade de regeneração do planeta, trazendo à tona a questão dos resíduos em diversos tipos de indústrias (HANNIGAN, 2009).

Todavia, há de se considerar grandes avanços na reação mundial voltada a preservação mundial ao longo dos anos. Os estudos e propostas voltados para as melhorias no modelo de desenvolvimento atual, tem ajustado a tecnologia e a ciência como fortes aliadas neste processo. Conseqüentemente, o desenvolvimento de tecnologias, indústrias e produtos mais limpos promovem um progresso mais saudável na sociedade.

Em concordância, Giddens (1991) destaca a necessidade de um desenvolvimento que questione a manipulação irresponsável dos recursos tecnológicos a fim de evitar danos irreversíveis à sociedade e ao meio ambiente. A tecnologia e seu forte vínculo aos diversos campos do conhecimento caracteriza-se como potencial instrumento para a busca de equilíbrio na relação humano-meio ambiente.

Retomando a ideia explanada no início do tópico, torna-se imprescindível o desenvolvimento de uma consciência ecológica. Tal prática estimula a consolidação do conceito em que a interpretação da natureza esteja inerente ao complexo da espécie humana, não algo à parte. Como resultado, a forma como a sociedade enxerga e maneja os recursos naturais é reorientada.

#### 2.1.2.2 Questão Social

Comumente, a questão ambiental é analisada apenas do ponto de vista técnico ou econômico, alheia às reflexões sociais referentes aos fins pretendidos da degradante apropriação do espaço natural. No contexto atual, destacam-se duas problemáticas vinculadas à questão social: as conseqüências ambientais não são distribuídas de forma homogênea; e o mercado é consagrado como mecanismo mais eficiente para regular as questões relacionadas ao meio ambiente. Isto proporciona discussões no âmbito sociológico, visto que os meios políticos e empresariais dominantes dirigem as principais decisões ambientais atuais e, como resultado, ocorre a destinação desproporcional dos riscos ambientais para os mais pobres e grupos menos privilegiados socialmente.

Tratando da primeira problemática no que diz respeito à relação entre pobreza e ambiente, constata-se que toda a sociedade é sensível à degradação ambiental, contudo os “pobres são os mais afetados pelas implicações e efeitos da modernidade

reflexa” (SILVA, 2005, p.115). Portanto, além dos aspectos biológico, técnico e econômico do conceito da sustentabilidade, o aspecto social evidencia um quadro de desigualdade realmente existente em termos de proteção ambiental no planeta. Sendo um dos aspectos da nova modernidade a presença da exclusão ambiental, as questões ambientais estão associadas diretamente com as tendências centrais da sociedade contemporânea, tais como o desenvolvimento econômico e a globalização

Segundo Giddens (2007), a globalização unifica forças em ambos os extremos, isto é, forças que tendem à degradação ambiental e forças avessas a ela:

Uma sociedade de consumo altamente desenvolvida aumenta os impactos ambientais; mas também aumenta a demanda pela proteção do meio ambiente. O rápido desenvolvimento tecnológico está expandindo o escopo e o caráter dos riscos ambientais; mas a tendência de individualização ajuda a forçar a inclusão desses riscos nas agendas políticas e empresariais. A crescente desigualdade social se manifesta na desigualdade ambiental; mas a amplamente percebida ‘universalidade’ da degradação ambiental estimula uma política coletivista potencialmente capaz de lidar com ela (GIDDENS, 2007, p. 457).

As forças que tendem a ampliar a degradação ambiental necessitam ser contidas e controladas, do mesmo modo que o ambiente deve ser protegido pelas mesmas. Do outro lado, as forças que tendem a proteção ambiental devem ser intensificadas e estimuladas, a fim de combater a tendência de desigualdade.

Já aprofundando na segunda problemática apresentada, sem descartar o ritmo econômico e progresso da globalização, a sociedade segue com as ressalvas necessárias para a proteção ambiental sob o prisma da modernidade. No entanto, alguns autores são mais radicais acerca das discussões inerentes ao desenvolvimento capitalista. Escobar (2016), por exemplo, constrói o respeito pela tradição junto ao desenvolvimento de novas alternativas na construção de futuros possíveis, visando a harmonia entre o natural e o humano. Desse modo, segundo Escobar (1996), o tão disseminado discurso capitalista sobre o desenvolvimento sustentável assegura a reconciliação de dois opostos extremos: o crescimento econômico e a preservação do meio ambiente. E sem as devidas adequações necessárias no sistema de mercado capitalista, defende que se torna inviável reduzir os impactos negativos ao meio ambiente de forma significativa.

O autor engloba, então, variados conceitos inerentes às ideias do Design social e Inovação social, perpassando por uma nova reorientação da natureza do design. Denominado por Design para a autonomia (ou Design autônomo), entre outros

aspectos, é caracterizado por ter como objetivo a realização do comunal; considera o ancestral bem como novos futuros possíveis; privilegia intervenções para o fomento de formas de organização não patriarcal, não liberal, não centrada no Estado e não capitalistas; atenta para a articulação comunidade – atores sociais – tecnologias heterônomas (Escobar, 2016, p. 214).

Na prática, entretanto, nota-se que desde o início dos anos 70, o esforço é constante na ideia da impossibilidade de modificação total do modelo econômico atual. Segundo Prado (2015):

A ideia de que seria possível manter o desenvolvimento econômico mundial de uma maneira mais cuidadosa em relação aos recursos naturais fez convergir os interesses de um mundo estruturado ainda em torno das forças produtivas capitalistas, e, portanto, comprometido com a ideia de desenvolvimento, porém, a partir daquele momento, preocupado com o meio ambiente (PRADO, 2015, p.87).

Assim, defende-se o estímulo a um consumo em forma ambientalmente benigna e o combate a tendência de desigualdade ou exclusão ambiental promovida pelo desenvolvimento global, com poucos ajustes no modelo econômico enraizado. Neste contexto, o desenvolvimento sustentável é idealizado de forma otimista como um caminho alternativo, situando-se entre “o pessimismo da advertência dos malthusianos a respeito do esgotamento dos recursos e o otimismo da fé dos cornucopianos a respeito dos remédios da tecnologia” (SACHS, 1993, p.30).

As dimensões do tripé sustentável – social, econômico e ambiental – não anulam o grande esforço em convergir aspectos distintos e, muitas vezes apresentados como antagônicos. Não há questão ambiental a ser resolvida anteriormente à questão social. Isto é, a problemática ambiental engloba mais que aspectos ecológicos e econômicos, sendo que o aspecto social interfere radicalmente tanto na forma de apropriação dos recursos naturais quanto nas suas consequências.

Visto que a desigualdade ambiental existe e vem sendo cada vez mais evidenciada devido a incidência de desastres naturais, a tecnologia deve ser repensada para auxiliar na mitigação desse problema de ordem social. Se a tecnologia, no entanto, não mantiver uma relação direta com a implantação de uma cidadania menos injusta, mais inclusiva e democrática, o discurso será semelhante às abordagens mercantis convencionais.

As condições ambientais prejudiciais juntamente da exposição a riscos e impactos dos desastres ecológicos tornam-se entraves para uma vida digna, violando os direitos fundamentais, sociais e ambientais. Tal quadro agrava quando se constata que a desigualdade social promove a desigualdade de subordinação aos danos ambientais, isto é, sujeitando os mais pobres às condições mais desfavoráveis, vítimas de injustiça ambiental (CAVEDON; VIEIRA, 2011).

O conceito de injustiça ambiental bem como sua relevância emerge justamente da atestação da ascendente escassez de recursos naturais, além da desigualdade da desestabilização de ecossistemas situados em diferentes grupos sociais ou áreas geográficas, sobretudo os mais carentes de recursos.

Desse modo, percebe-se que a injustiça social acomete uma determinada comunidade quando engloba uma vulnerabilidade social e econômica fortemente marcada pela degradação ambiental. Essa sobreposição de conceitos demonstram a complexidade da questão ambiental na atualidade (Figura 7).



Figura 4: Injustiça ambiental.  
Fonte: Autora (2018).

Os moradores próximos a áreas de risco ambiental são mais vulneráveis e desprivilegiados em diversos fatores. Alguns dados referentes às famílias e residências em situação de pobreza e risco ambiental foram coletados no município de São Paulo, visando verificar a evidente relação entre a exposição a risco ambiental e dimensões de vulnerabilidade social:

Os moradores próximos de cursos d'água são mais pobres, menos escolarizados, com menos acesso a serviços públicos e bens duráveis, residem em domicílios mais precários do ponto de vista construtivo e estão mais expostos a vetores de doenças transmissíveis, assim como têm mais frequentemente seus domicílios localizados em favelas. Nessas áreas, além da característica natural de risco ambiental, a ausência de urbanização, com falta de rede de esgoto, coleta de lixo, etc., torna a população residente extremamente vulnerável (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2008, p. 63).

Existem outros dados que demonstram tal diagnóstico de sobreposição espacial da interação entre os problemas sociais e ambientais. Com uma simples observação à dinâmica das cidades atuais, percebe-se que as áreas com péssimas condições ambientais são acessíveis à população mais pobre, principalmente em favelas. Frequentemente, as comunidades mais pobres e discriminadas são também aquelas mais vitimadas pelos processos de mudanças climáticas (ACSELRAD; MELLO; BEZERRA, 2008).

De forma geral, uma grande parcela da população está comprovadamente mais exposta às emanções de gases das indústrias poluentes, tendo os microclimas, de onde vivem afetados de forma mais intensa do que a média global. As comunidades indígenas e tradicionais, bem como pescadores e pequenos agricultores, também sofrem os danos causados pelas grandes indústrias ao conviver com a desestabilização dos recursos naturais que oferecem a reprodução material e simbólica. Não há democracia nos aspectos ambientais devido a existência dessas injustiças sociais.

Desse modo, nota-se o desrespeito aos direitos humanos, fundamentais, sociais e do ambiente, atingindo toda a sociedade e tornando necessário analisar esta relação entre pobreza e ambiente.

A maioria dos danos ambientais atuais são oriundos das mais diversas atividades industriais seja de forma consciente e irresponsável, seja de forma acidental. Visto que os impactos ambientais provocados pelas atividades industriais também afetam as comunidades menos favorecidas de forma desproporcional, o próximo tópico apresenta dados que apontam os esforços do setor da construção civil em contribuir para a redução a degradação ambiental no mundo.

### 2.1.2.3 Sustentabilidade na construção civil

Como justificado anteriormente, a sustentabilidade é uma necessidade atual e emergencial. Na construção civil, existe um gama de soluções e ações que corroboram para as práticas sustentáveis em canteiro de obras e edificações. Isto resulta de investimentos da indústria da construção civil em tecnologias apropriadas que forneçam materiais com vida útil longa, menos poluentes e com menor geração de resíduos.

O Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB) conceitua a construção sustentável como um processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído, além de criar medidas que ratifiquem a dignidade humana e desenvolvam uma igualdade econômica (CIB, 2002).

A Agenda 21 sobre Construção Sustentável publicada em julho de 1999, identifica o seguinte conjunto de facetas (CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction):

- Sustentabilidade econômica (procura do mercado, custo global dos empreendimentos, processos de construção, gestão da construção, etc.);
- Sustentabilidade funcional de edifícios (necessidades funcionais, qualidade ambiental interior, desempenho técnico, durabilidade de materiais e componentes da construção.);
- Sustentabilidade ambiental (consumo de recursos naturais, biodiversidade, tolerância da natureza, cargas ambientais, etc.);
- Sustentabilidade humana e social (estabilidade social, ambiente construído, aspectos da saúde, estética e cultura das populações, etc.).

Sobre cada uma das facetas, a Agenda 21 aponta os aspectos principais a serem considerados, os principais desafios e as formas de atuação a adotar no caminho da sustentabilidade.

O conceito amplo de sustentabilidade pode ser dividido em quatro áreas específicas: a sustentabilidade ambiental, a sustentabilidade econômica, a sustentabilidade sociopolítica e a sustentabilidade cultural. A pesquisa em questão enfatiza a sustentabilidade ambiental e econômica na construção.

A sustentabilidade ambiental consiste na adoção de medidas que gerem e assegurem a capacidade do ambiente natural em manter as condições de vida adequadas

para os seres vivos, considerando a habitabilidade, a beleza do ambiente e a sua função como fonte de energias renováveis. A sustentabilidade econômica é um conjunto de ações que trata o lucro pela perspectiva social e ambiental, promovendo a otimização do uso de recursos limitados e a gestão eficiente de tecnologias que poupam materiais e energia.

Um projeto e uma construção sustentável visam por soluções que atendam eficientemente ao programa de necessidades, às restrições orçamentárias, às condições físicas e sociais locais, às tecnologias disponíveis e viáveis, à legislação e à previsão das necessidades durante a vida útil da edificação ou espaço construído.

As construções sustentáveis buscam ainda o acesso de oportunidades ambientais às gerações futuras, direcionada à produção de edificações saudáveis e seguras, através das ações a seguir: redução da poluição; economia de energia e água; diminuição da pressão de consumo sobre matérias-primas naturais; aprimoramento das condições de segurança e saúde dos trabalhadores, usuários finais e comunidade em geral (CIMINO, 2002, p. 5).

Pode-se dizer que uma construção sustentável não possui uma preocupação voltada apenas para os impactos que podem acarretar ao meio ambiente, abrange também o bem-estar dos usuários. A construção sustentável baseia-se no desenvolvimento de um modelo que permite à construção civil propor soluções e enfrentar os principais problemas ambientais da atualidade, sem desconsiderar a tecnologia moderna e à criação de edificações que atendam às necessidades de seus usuários.

Toda construção para ser sustentável deve ter características básicas que se firma na integração equilibrada do homem e o ambiente natural. Os tipos de construções sustentáveis são (RUEDGER, 2010):

- Construídas com materiais sustentáveis industriais: são as edificações chamadas de “green building” construídas com materiais que reduzem impactos ambientais, mas passam por processos industriais de produção;
- Construídas com resíduos não processados: reutiliza os materiais encontrados no meio ambiente, geralmente urbano, tais como garrafas Pet, pneus de automóveis, latas, cones de papel, sendo mais comum em autoconstruções ou por profissionais alternativos;
- Construídas com materiais de reuso, demolições ou segunda mão: incorpora produtos convencionais e prolonga sua vida útil;

- Construção alternativa: emprega materiais encontrados no mercado e atribui nova função, sendo muito utilizado nas comunidades carentes e se assemelha muito ao modelo de autoconstrução;
- Construções naturais: utiliza materiais encontrados na região a ser construída, com baixo custo, sendo apropriado para locais integrados com a natureza e vegetação.

É indiscutível o estudo de formas mais sustentáveis de construção, pois os recursos naturais do planeta são finitos. Todavia, não existe construção que não gere impacto, a busca é por intervenções que ocasionem um impacto em menor escala (PISANI, 2005).

O setor da construção sustentável já possui grandes avanços no país. Segundo dados do Green Building Council Brasil (2018), o Brasil é top 5 no ranking da lista de nações que mais aplicam conceitos de sustentabilidade em obras, atrás apenas do Canadá, China e Índia. Existem instrumentos de gerenciamento ambiental em edificações no mundo todo que são denominados por certificações ambientais, em que regulam, avaliam e classificam uma construção como sustentável. No Brasil, as certificações mais difundidas são: AQUA (Alta Qualidade Ambiental), criado para atender às características ambientais do Brasil; e o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), certificação internacional do GBC (Figura 8). Podem-se citar também as certificações Procel Edifica e o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal.



Figura 5: Principais certificações ambientais no Brasil.

Fonte: <http://www.ecodesenvolvimento.org/ecod-basico-certificacoes-de-construcao-verde>

É imprescindível compreender o mercado e os possíveis entraves ao uso de técnicas e materiais sustentáveis, assim como considerar os benefícios construtivos, ecológicos e econômicos para incentivar a utilização de determinadas soluções. Nesta

análise da importância da sustentabilidade aos setores industriais, o campo do design torna-se importante aliado para fomento de estudos e concepção de alternativas ao mercado. Portanto, os capítulos seguintes promoverão uma discussão acerca da relação entre sustentabilidade, design e materiais.

## **2.2 Design para a Sustentabilidade**

O conceito de sustentabilidade sofre exaustão pelo uso abusivo e, em muitas ocasiões, é utilizado de forma inadequada. O termo original aparece associado ao termo desenvolvimento sustentável, cuja definição foi apresentada no relatório de Brundtland. Assim, o termo Desenvolvimento Sustentável surgiu em 1987, no *Relatório Nosso Futuro Comum da "Brundtland Commission"* (Comissão Mundial para Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD), como "aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades" (CMMAD, 1991, p. 46).

Segundo Kazazian (2005), atualmente, a humanidade vive uma realidade em que se impõe o desenvolvimento sustentável, tornando como responsabilidade de todos buscar por soluções que favoreçam a prosperidade sem um retrocesso em qualquer setor dos sistemas econômico ou natural. Portanto, qualquer preocupação ambiental exige novas soluções imprescindivelmente sustentáveis, principalmente quando corroborada pela degradação ambiental e a escassez de recursos naturais.

Na sustentabilidade reúnem-se três conhecidas dimensões: ambiental, social e econômica. A interligação entre esses aspectos permeia a aplicação do conceito de sustentabilidade, seja qual for sua aplicação, almejando conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental concomitantemente aos aspectos sociais.

Desse modo, no campo do design, a sustentabilidade é aplicada por meio das estratégias e métodos para diminuir e/ou contornar problemas de ordem social, econômico e ambiental. O Design Sustentável, conforme a Figura 1, busca maximizar os objetivos ambientais, econômicos e o aumento do bem-estar social, considerando a responsabilidade de não prejudicar o equilíbrio ambiental atual e garantir este equilíbrio as gerações futuras (PAZMINO, 2007).

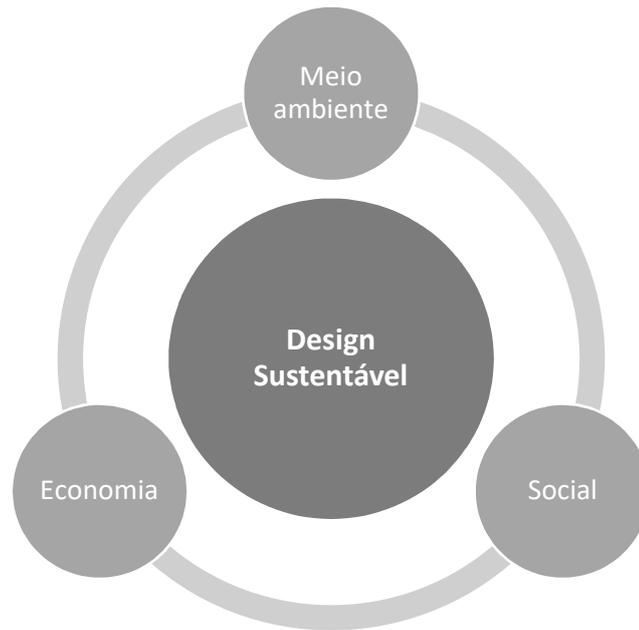


Figura 6: Tripé Sustentável.  
Fonte: Autor (2018)

A sociedade tem buscado soluções mais sustentáveis para produtos e serviços. Esta demanda “requer alterações radicais nos sistemas de consumo e produção, exigindo do design novas competências e novo escopo de atuação” (SANTOS; LEPRE, 2008). Atualmente, o design se envolve cada vez mais com os conceitos de Desenvolvimento Sustentável, inovação e bem-estar social, principalmente diante as demandas da sociedade e do mercado (CAVALCANTE et al., 2012). Apesar do design almejar uma responsabilidade para com o meio ambiente desde os anos 70, apenas na segunda metade dos anos 90 o foco dos esforços foi dirigido aos produtos industriais e, conseqüentemente, ao design (VEZZOLI, 2007). Os produtos, neste cenário, buscavam melhorias introduzidos pelo redesign ambiental, também chamado de ecodesign.

De forma geral, o ecodesign, cuja primeira definição foi dada por Victor Papanek (KAZAZIAN, 2005), trabalha com a finalidade de reduzir os impactos negativos do ser humano no planeta. Papanek (1995) apresenta o processo de desenvolvimento de produto dividido em seis etapas: Escolha de Materiais; Processos de fabrico; Embalar o produto; O produto acabado; Transportar o produto; e Geração de resíduos sólidos. Todas estas etapas são potencialmente causadoras de impactos ambientais e merecem uma atenção especial no caso de um projeto de ecodesign. O

ecodesign, como uma abordagem global, requer uma nova forma de conceber, contemplando todas as etapas do ciclo de vida de um produto ou serviço (CAVALCANTE et al, 2012).

Todavia, os conhecimentos acerca do design para a sustentabilidade ainda hoje são pouco recorrentes na atividade do profissional do Design, justificando-se tanto pelo tempo requerido para aplicação quanto pela compreensão de que o design sustentável não é necessariamente a prioridade, mas uma das diversas variáveis que o designer pode utilizar em um determinado projeto (LOFTHOUSE, 2004).

Para Manzini e Vezzoli (2002), o desenvolvimento de um Design para a Sustentabilidade capacita o sistema produtivo para proporcionar o bem-estar através da utilização de uma quantidade de recursos ambientais inferior aos atuais níveis alcançados. Trata-se de uma vertente estratégica do design, onde “coloca em ato descontinuidades locais promissoras, contribuindo para efetivas mudanças sistêmicas” (MANZINI, 2008, p.12).

De acordo com Manzini (2002), tal conceito sustentável no design considera as questões ambientais e o estudo do ciclo de vida no Design de Produto, otimizando os processos e a vida útil dos produtos, tendo como ponto de convergência a redução dos impactos ambientais.

Retomando à temática dos materiais desta pesquisa, percebe-se que antes da etapa da seleção dos materiais, a sustentabilidade já deveria ser ativa no ciclo de vida de um produto. As decisões mais importantes para obtenção do design para a sustentabilidade ou design sustentável são tomadas nas primeiras fases do projeto, principalmente na fase de conceito e, por consequência, na seleção de materiais. Tais decisões possuem muita influência na redução de custos.

Segundo Ashby e Johnson (2010), as principais etapas do desenvolvimento de um produto estão correlacionadas ao processo seleção de materiais. Conforme Figura 02 a seguir:



Figura 7: Seleção de materiais no Processo de Desenvolvimento de Produtos.  
 Fonte: Adaptado de Ashby e Johnson (2010).

Na primeira etapa de desenvolvimento do produto, faz-se necessário informações para um subconjunto de materiais. Nas fases seguintes, é preciso um nível mais alto de precisão e detalhe (pré-seleção e seleção ativa). Até que na especificação final para prosseguir com projeto de fabricação, exige-se uma exatidão na escolha do material. Pode-se observar que o grau de informações sobre materiais aumenta à medida que o projeto avança. Apesar do esquema linear acima, a seleção de materiais durante o processo de design não segue obrigatoriamente tal ordem, mas se ajusta de forma flexível às particularidades de cada projeto.

Como Lofthouse (2004) aponta, os designers são fundamentais no que diz respeito à sustentabilidade, apresentando-se nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, sendo que nestes estágios, as estratégias são mais flexíveis a decisões, alterações e que têm maior influência na definição de seus aspectos ambientais. Gradativamente, a abordagem no desenvolvimento de novos materiais compreende todo o ciclo de vida dos produtos, considerando os impactos existentes desde a matéria-prima até o destino final do produto ou descarte (CARVALHO, 2011).

Portanto, o designer possui grande responsabilidade sobre os recursos naturais, visto que 80% do impacto ambiental dos produtos, serviços e infra-estruturas

no mundo são determinados por tal profissional (THACKARA, 2008). Ainda segundo Thackara (2008), as decisões de design orientam os processos por trás dos produtos, bem como os materiais e a energia necessária para produzi-los, o modo das operações no dia a dia e as possíveis ações após a perda de utilidade dos produtos.

Vale lembrar que as várias esferas do design sustentável estimula a participação de muitas outras disciplinas, tornando inevitável uma formação de designers ou especialização dos novos profissionais que saibam planejar, organizar e desenvolver projetos em conjunto com a comunidade (PAZMINO, 2007). Além disso, a seleção de materiais também envolve diversos conhecimentos devido às suas propriedades técnicas até aspectos estéticos, simbólicos e práticos dos materiais. Portanto, torna-se imprescindível informações mais específicas de áreas como a engenharia e o design para uma seleção eficiente de materiais.

Conforme Kindlein e Busko (2006), independentemente do contexto, do setor ou porte da empresa, é aconselhável a montagem de uma equipe interdisciplinar para o processo de seleção do material na etapa de desenvolvimento do produto. Os materiais estão presentes em diversas outras áreas do conhecimento, tal como a engenharia, e alguns casos conduzem a conhecimentos tão específicos que somente com o auxílio de profissionais especializados o produto seria desenvolvido de forma eficiente. Embora, comumente, a seleção de materiais seja realizada pela equipe de desenvolvimento de produto da empresa, em alguns casos ocorre o auxílio de profissionais especializados em áreas que um designer não tem domínio (DIAS, 2009). Tal interdisciplinaridade presente no campo teórico do design, torna-se visível e necessário no campo prático.

A interdisciplinaridade não visa a anulação das disciplinas, mas vislumbra a ocorrência de um diálogo entre as disciplinas envolvidas em prol da inovação. Logo, a interdisciplinaridade é um meio eficiente de inovação no design, principalmente quando aliado à sustentabilidade. No que diz respeito à sustentabilidade, a interdisciplinaridade é apresentada desde o início na história do Desenvolvimento Sustentável, justamente pela complexidade das premissas inerentes a um consumo ambiental mais consciente.

## 2.3 Materiais no Design de produto

Os avanços tecnológicos no âmbito dos materiais acarretam avanços no design, permitindo melhorias na função prática do produto ou possibilitando a criação de meios para que o design melhore as funções intangíveis (DIAS, 2009). Assim como o design permite ir além do material e criar soluções para as coisas intangíveis, também pode se aprofundar em propriedades e aspectos da composição de determinado material. Afinal, as ideias, conceitos e projetos de um designer são concretizados através dos materiais.

De acordo com Ashby e Johnson (2010), os materiais definiram as oportunidades e os limites do design através da própria história. Ao exemplificar as épocas históricas - como a Idade da Pedra, do Bronze, do Ferro, do Plástico e do Silício (era atual) - para enfatizar a importância dos materiais, nota-se que as nomenclaturas secundárias derivam dos nomes dos principais materiais utilizados em cada era/período. Ainda segundo os autores:

Vivemos em um mundo de materiais. São os materiais que dão substância a tudo que vemos e tocamos. Nossa espécie – Homo sapiens – é diferente das outras, talvez mais significativamente pela habilidade de projetar – produzir ‘coisas’ a partir de materiais – e pela capacidade de enxergar mais em um objeto do que apenas a sua aparência (...). (ASHBY; JOHNSON, 2010, p. 3)

A Revolução Industrial proporcionou transformações na esfera cultural, social e econômica, intensificando o surgimento de materiais diversos para a produção de produtos. Neste período de aceleração da produção, “houve o impulso do design devido à necessidade de criação de produtos e o planejamento da produção com base no desenvolvimento em série” (CALEGARI; DE OLIVEIRA, 2013, p. 56).

O avanço da tecnologia e conhecimento científico tem proporcionado o surgimento de novos materiais dia após dia. Segundo Ashby e Johnson (2010), existe uma gama de aproximadamente 100 mil materiais que permitem a inovação ao design, a partir da exploração no campo imaginativo destes novos e aprimorados materiais. Segundo Beylerian e Dent (2007), os materiais podem ser considerados como uma das fontes mais ricas de inovação, uma vez que possuem potencial para promover o design inovador.

A pesquisa em materiais que busca o aperfeiçoamento e o desdobramento de novos materiais é quase tão antiga quanto à própria humanidade, apesar de somente nos dias atuais estar em seu ápice (BEYLERIAN; DENT, 2007). O desenvolvimento da humanidade está vinculado aos materiais, por isso é imprescindível que o campo do design estimule estudos nesta área em prol de melhorias na sociedade atual.

Diversos autores abordam a evidente relação entre design e materiais. Os materiais são dissociáveis do design de produto, visto que os “materiais são a matéria de que é feito o design de produto” (ASHBY; JOHNSON, 2010, p. 55) e os “materiais são componentes físicos que constituem um produto” (GOMES, 2006, p. 151). De forma mais profunda, os “materiais podem transformar o design, e o design, portanto, tem a força para transformar nossas vidas” (BEYLERIAN; DENT, 2007, p. 17). Ferrante e Walter (2010) afirmam que o material é o elo entre a ideia e a produção, sendo este material selecionado e processado até a reprodução física da ideia em um produto.

Os materiais são essenciais para muitas soluções de design de forma a auxiliar na execução dos requisitos propostos no projeto, podendo, inclusive, definir o leque de funções de produtos, a durabilidade, os custos, etc. Ashby e Johnson (2010) asseguram que o bom design é aquele que leva em consideração o uso mais eficiente dos materiais, suas propriedades e a forma como podem ser conformados. Assim, o designer é habilitado a explorar as propriedades de certo material com a finalidade de corrigir os seus defeitos ou aperfeiçoar aspectos existentes.

Vale enfatizar que para realizar a seleção dos materiais adequados, o designer deve conhecer as opções existentes bem como algumas de suas propriedades (BEYLERIAN; DENT, 2007). Para tal, é necessário que os profissionais de design obtenham uma significativa base de conhecimento para o desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades dos usuários de forma eficiente. Desse modo, conclui-se a importância dos estudos acerca dos materiais e sua inovação dentro do design de produto.

A alteração de um ou mais materiais visando redução de custos, bem como modificações da composição de um produto para um melhor desempenho técnico, são algumas das motivações que induzem empresas a aprofundarem-se na temática

de seleção dos materiais. Segundo Calegari e De Oliveira (2013), a seleção de materiais permanece presente do início ao fim do processo de design. Contudo, conforme o avanço do projeto a seleção de materiais caminha para um refinamento até a escolha efetiva do material mais adequado ao projeto.

Dentre as propriedades técnicas existentes, os designers destacam algumas muito importantes no desenvolvimento de produtos, tais como: resistência, dureza, acabamento, durabilidade, disponibilidade, custo, etc. No entanto, de acordo com Calegari e De Oliveira (2014), não cabe ao designer e seu campo de trabalho a compreensão de forma exata das propriedades técnicas, mas é válida uma noção geral do comportamento dos materiais. Segundo os estudos dos autores, as propriedades dos materiais de maneira prática são mais relevantes, ou seja, “como o material pode ser utilizado em relação aos processos de fabricação, quanto peso determinado material suporta, qual é a resistência frente a intempéries, a possibilidade de receber um determinado acabamento, a facilidade de limpeza, e outros” (CALEGARI; OLIVEIRA, 2014).

Embora o design de produto encontre relação direta aos materiais, no desenvolvimento de um produto é aconselhável a formação de uma equipe interdisciplinar, como já foi apresentado no tópico anterior. É necessário compreender a amplitude do conceito de design para analisar suas relações nas demais áreas do conhecimento. Para Schulmann (1994), o design é considerado como um método criador, integrador e horizontal. O autor complementa que o designer tem uma abordagem e uma experiência multidisciplinar, sendo especialista na análise e resoluções de problemas referentes ao desenvolvimento de uma solução para um projeto específico (produtos bidimensionais ou tridimensionais, virtuais, serviços). Hiratsuka (1996) define design como a atividade intelectual de projeção com características multidisciplinar e interdisciplinar, visando a concepção de produtos como forma de resolução de problemas técnicos, ergonômicos, sociais, mercadológicos e produtivos. Enquanto o International Council of Societies of Industrial Design define o termo design como:

uma atividade criativa [e projetual] cujo objetivo é estabelecer as qualidades multifacetadas de objetos, processos, serviços e seus sistemas em ciclos de vida completos. Portanto, design é o fator central da humanização inovadora de tecnologias e o fator crucial de intercâmbio cultural e econômico. Assim, o design é uma atividade que envolve um amplo espectro de profissões nas

quais produtos, serviços, gráficos, interiores e arquitetura tomam parte. Juntas, essas atividades devem melhorar ainda mais – em consonância com outras profissões relacionadas - o valor da vida (ICSDI, 2012).

Como consequência da evolução da ciência e tecnologia, a definição do design deve sofrer constantes mudanças ao longo do tempo. O design encontra-se, hoje, em plena metamorfose, o que compreende definições transitórias, que mudam em função dos interesses e ideologias. Contudo, o design como atividade única e exclusiva ao homem para melhorar a qualidade de vida ainda permanece como uma questão imutável e indiscutível. Portanto, o design é o transformador das necessidades sociais em soluções que gerem benefícios em diversas atmosferas (BONI; SILVA; SILVA, 2014).

De modo geral, de acordo com Balsamo (2010), o design em si e seus processos iniciam com a formulação de uma questão geradora, cujo objetivo ou tarefa é desenvolver soluções para ela. Essa característica encontra-se estreitamente ligada aos campos de engenharia, na qual as soluções podem ser avaliadas em termos de uso eficiente de recurso, economia de materiais, entre outros (BALSAMO, 2010).

O design de produto é uma das primeiras ramificações da ampla ciência do design e é responsável pela materialização de objetos presentes no cotidiano das pessoas. Cardoso (1998) enfatiza tal ideia ao considerar o design, do ponto de vista antropológico, como uma das diversas atividades projetuais que visam atribuir existência concreta e autônoma a ideias abstratas e subjetivas.

De forma geral, o design de produto elabora conceitos, cria e desenvolve projetos de produtos, apontando os melhores materiais e técnicas para produção de objetos em escala industrial. A formação profissional nesta área engloba o conhecimento amplo acerca de variados sistemas de fabricação, processos e materiais existentes (polímero, cerâmica, metal, etc.), estimulando pesquisas de novas tecnologias e matérias-primas, a fim de alcançar eficientes atributos ergonômicos, estéticos e funcionais dos produtos. Conforme a Figura 3 abaixo, o design de produto engloba várias esferas:

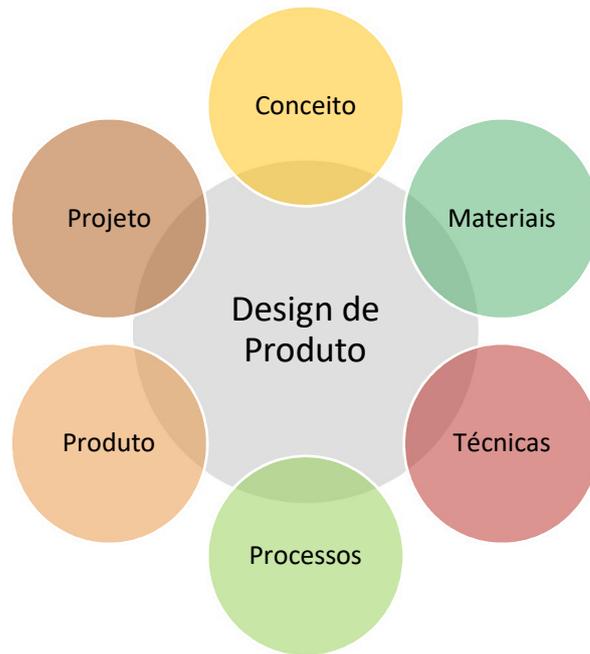


Figura 8: Esferas do Design de Produto.  
Fonte: Autora (2018).

O desenvolvimento de produto traduz-se em uma série de atividades por meio das quais se busca especificar o projeto de um produto e seu processo de produção, para que seja passível de fabricação, levando em consideração as necessidades do mercado, além das possibilidades e restrições tecnológicas (ROZENFELD et al., 2006). É possível que após a finalização do desenvolvimento do produto, ainda ocorram as mudanças necessárias para melhorias no produto.

Focando na questão dos materiais, cujo domínio está intrinsecamente ligado à ciência e tecnologia, é importante ressaltar que o design de um produto não permanece como verdade absoluta, sendo passível de constantes reflexões sobre seu conceito, projeto, funcionamento e aplicações. Como já colocado anteriormente, o mundo complexo está em constante evolução, por isso o design estará suscetível a adaptações consoante às necessidades e mudanças da sociedade. Dessa forma, novos processos e materiais estimulam o surgimento de oportunidades para o design de produto.

Diante da necessidade de uma consciência ecológica na produção industrial, as pesquisas voltadas para a sustentabilidade dos materiais têm avançado no meio acadêmico. De acordo com Beylerian e Dent (2007), já existem muitos estudos para a próxima geração de materiais, processos e ferramentas que visam o

desenvolvimento de produtos orientados para a preservação ambiental. Os autores afirmam que tal inovação em materiais é nitidamente necessária para resolver algumas lacunas do futuro, sobretudo no que diz respeito às questões ecológicas e à escassez de materiais provenientes de fontes não renováveis.

De forma objetiva, como o design contribui para a sustentabilidade dos materiais? Segundo Pazmino (2007), a sustentabilidade relaciona-se com os materiais quando aplica diretrizes do ecodesign no desenvolvimento de produtos. Dentre elas, destaca-se: reduzir a utilização de recursos naturais e de energia, usar materiais não exauríveis (esgotáveis), usar materiais não prejudiciais (danosos, perigosos), usar materiais reciclados, usar materiais recicláveis, usar materiais renováveis, escolha de técnicas de produção alternativas, e pouca geração de resíduos.

Com este cenário, constata-se uma grande potencialidade nos compósitos, sendo estes resultados de inúmeros estudos interdisciplinares que visam a redução dos impactos ambientais no surgimento de novos produtos, a partir da combinação tanto de materiais tradicionais quanto materiais alternativos à produção industrial.

## **2.6 Compósitos**

Os materiais compósitos já possuem ampla utilização por seres humanos há alguns milênios. Denominados também por materiais compostos, são definidos como a combinação de dois ou mais componentes, basicamente materiais puros.

De acordo com Shackelford (2012), existem três materiais tradicionais estruturais da engenharia: metais, polímeros e cerâmicos. Contudo, tais materiais estão cada vez menos suprindo as demandas de aplicações em produtos. Devido à iminente escassez destes materiais, torna-se imprescindível a busca pela redução da exploração dos mesmos.

Os compósitos podem ser classificados em uma quarta categoria de material, que abrangem uma quantidade maior de aplicações ao combinar os materiais de características divergentes entre si (CALLISTER, 2008). Desse modo, o compósito proporciona a união de propriedades físicas inerentes a cada componente em um único e novo material, para que apresente o melhor desempenho estrutural em condições específicas de uso. Segundo Shackelford (2012), “o melhor dos dois

mundos” deve ser o objetivo final após uma criteriosa seleção de materiais compósitos.

De forma geral, os compósitos são constituídos por uma matriz (material de liga de natureza polimérica, metálica ou cerâmica) e uma fase dispersa (partículas ou fibras que servem como carga), conforme Abreu (2015). Segundo Callister (2002), os compósitos podem ser classificados conforme o esquema abaixo:

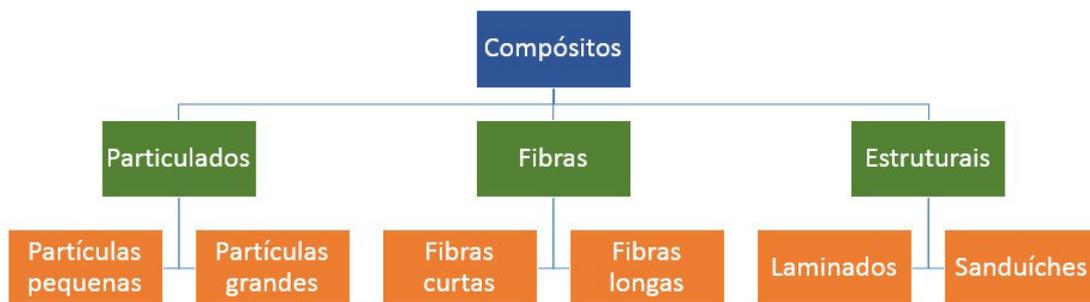


Figura 9: Classificação dos compósitos.

Fonte: Adaptado de Callister (2002).

Conforme a Figura 11 acima, os materiais compósitos são diferenciados da seguinte forma: compósitos de fibras ou reforçado por fibras, compósitos particulados e compósitos estruturais. O compósito de fibras é constituído por fibras de um determinado material reforçando uma matriz de outro material, como fibras de carbono, kevlar, vidro, juta em matrizes poliméricas. O compósito particulado é formado por partículas de grandes dimensões de um determinado tipo material dispersam numa matriz de um outro tipo de material, como concreto e asfalto. Por fim, os compósitos estruturais ou laminares são formados por lâminas de diferentes materiais - inclusive compósitos dos dois tipos anteriores -, tais como contra placados, laminados de fibras e resina, e sandwich.

Diversas indústrias utilizam compósitos em sua cadeia produtiva, como: aeronáutica/aeroespacial, a construção civil, marítima, desportos de alta competição a laser e a indústria automobilística (REZENDE; BOTELHO, 2000). Inicialmente, a classe desse material foi impulsionada pelas necessidades aeronáuticas e bélicas de materiais que combinassem tanto elevada resistência quanto leveza.

Como já apresentado anteriormente, nos últimos anos, a busca por materiais ecologicamente corretos tem direcionado o surgimento de compósitos de matrizes poliméricas com fibras naturais. Produtos artificiais como o MDF, o aglomerado, o compensado, são exemplos de compósitos inspirados em produtos naturais. Pode-se destacar ainda os cimentícios – tijolo de concreto, o ladrilho hidráulico, placas de cimentício e a fibra de vidro (ABREU, 2015).

Nesta pesquisa, os compósitos são estudados como um meio de aperfeiçoamento de um material sustentável, uma vez que o compósito se trata de uma combinação planejada de materiais com uma finalidade específica. E como discutido anteriormente, o objetivo é elaborar um compósito com matéria-prima local, visando a mitigação de problemas de ordem ambiental e social.

É necessário ainda analisar algumas particularidades referentes ao uso dos materiais que compõe o compósito desta pesquisa. Por isso, segue-se com o aprofundamento teórico acerca do tijolo de solo-cimento, uma vez que a composição a ser analisada parte da mistura tradicional dos elementos deste material construtivo. Do mesmo modo, apresenta-se um panorama acerca dos resíduos da construção civil, visto que o RCD também é incorporado no compósito estudado.

## **2.4 Tijolo de solo-cimento**

Após uma explanação geral da relevância de estudos relacionados aos compósitos, é importante abordar de forma mais aprofundada o tijolo de solo-cimento e suas particularidades, visto que este material possui a composição base escolhida para análise de fabricação na Ilha de São Luís.

Casanova (1998) afirma que há dez mil anos o homem já empregava o solo como material de construção. A terra é um dos materiais de construção mais utilizados pela humanidade desde a pré-história, sendo verificado tanto em construções de caráter popular como em edifícios representativos e monumentos (NEVES; FARIA, 2011). É importante destacar que a construção em terra poderá representar mais da metade da totalidade das construções existentes em países com menores recursos econômicos, conforme Pinto et al. (2008).

O solo-cimento, especificamente, é um material antigo já detectado em construções milenares por meio de uma formulação primitiva que se constitui de terra misturada com cinza vulcânica, sendo este último o composto antecessor ao cimento. Com o passar dos anos e novos conhecimentos empíricos, as civilizações melhoravam o solo com outros materiais para prover maior resistência. Segundo Cunha (1978):

O adobe, na forma de blocos secos ao sol era bem conhecido na antiguidade. Os filhos de Israel faziam tijolos de barro para os egípcios no tempo de Moisés. Pouco a pouco, o homem aprendia que, com certos tipos de barro poderia fazer construções melhores do que com outros e que alguns duravam por toda a vida. (...). No Egito, melhorava o adobe adicionando a palha e o bambu (...). Na Babilônia e na Assíria, introduzia o asfalto natural, dando ao adobe primitivo uma melhor resistência ao intemperismo. (CUNHA, 1978, p.3)

As técnicas tradicionais com o uso da terra passaram a incorporar alguns materiais industriais, tais como cimento, cal e outros produtos químicos que funcionam como estabilizadores do solo a fim de melhorar as características mecânicas e físicas. Assim, surge a composição final do tijolo de solo-cimento.

Segundo Abiko (1995), o solo-cimento foi utilizado pela primeira vez em 1915, pelo engenheiro Bert Reno nos Estados Unidos da América (EUA), na aplicação em uma pavimentação de rua com a combinação de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland. Mercado (1990) enfatiza que no Brasil, a partir da década de 70, o solo-cimento tornou-se objeto de intensas pesquisas principalmente da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). No entanto, o advento de materiais industrializados favoreceu para que o uso de tijolo de solo-cimento ficasse à margem do mercado da construção, principalmente em habitações (ABCP, 1985). Atualmente, estudos de aprofundamento técnico, realizações de construções bem-sucedidas e a preocupação ambiental estão atraindo novamente investimentos de variados setores da economia para construções que utilizem o solo-cimento.

Segundo Carvalho e Poroca (1995), os tijolos/blocos de solo estabilizado, possibilitam seu uso em variados tipos de construções, de maneira que substitua os blocos cerâmicos convencionais, em alvenaria simples de vedação ou alvenaria estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto.

Também denominado por Tijolo Ecológico, trata-se de um bloco endurecido resultante da mistura homogênea e compactada de solo, cimento e água, sendo cada item aplicado em proporções adequadas (MOTTA; MORAIS; ROCHA, 2014). As porcentagens da dosagem de cada item de sua composição são obtidas por meio de ensaios específicos ou por simples experiência local de seus fabricantes. Quanto maior a quantidade de cimento empregada, mais elevada será a resistência do material à compressão. Entretanto, deve-se limitar o teor ideal para que tijolo curado obtenha a necessária qualidade sem a elevação desnecessária do custo do produto. A NBR 12024, referente ao “Solo-Cimento – moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos” (1992), fornece todas as orientações necessárias para uma mistura eficiente.

Barbosa e Ghavami (2007) afirma que para confeccionar os blocos, devem ser levados em consideração os seguintes aspectos: tipo de terra, umidade de moldagem, tipo de prensa, percentagem de estabilizante e cura. O processo de fabricação (ABCP, 1985; CEPED, 1978) do Tijolo de solo-cimento é dividido nas seguintes etapas: Extração do solo; Preparação do solo; Mistura do solo; Moldagem; Cura e Armazenamento. Conforme fluxograma abaixo (Figura 9):

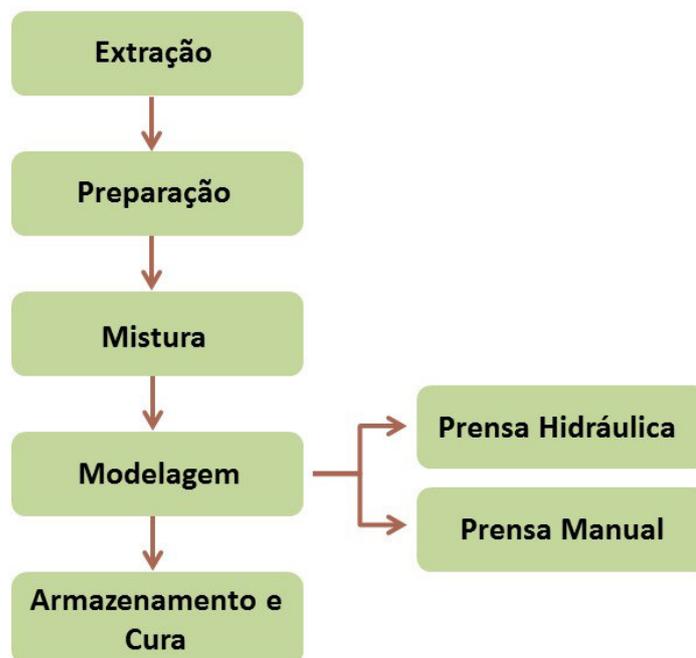


Figura 10: Fluxograma do Processo de fabricação.  
Fonte: Autora (2018).

A extração da matéria-prima principal está condicionada à existência de solo, tipo de solo e transporte, sendo necessária a análise granulométrica de cada componente para a posterior preparação e mistura do solo, segundo as prescrições da NBR 7181/84.

Segundo ABCP (1985), os solos compostos por 50% a 90% de areia produzem solo-cimento com maior durabilidade, sendo que solos argilosos apresentam maior gasto com cimento e maior dificuldade na pulverização e estabilização da massa em função da baixa porcentagem de areia. Conforme Freire e Beraldo (2003), na ausência de um solo adequado próximo ao local da obra, é possível a mistura de solos. A título de exemplo, caso exista um solo no local da obra ou nas proximidades composto por argila em sua maior parte, é permissível a adição de areia para que o solo presente resulte em um solo mais arenoso em sua composição.

Na etapa da preparação do solo, já há a definição do tipo de solo a ser utilizado, portanto segue-se a ação de triturar ou peneirar o solo seco. Com a limpeza do solo, adiciona-se o cimento ao solo já preparado e misturam-se os materiais ainda secos. Quando a mistura estiver homogeneizada, adiciona-se água e mistura-se novamente o material até uniformizar a umidade no solo. Enfatiza-se que a mistura pode ser manual ou automatizada.

A etapa da moldagem ou modelagem dos tijolos também pode ser executada através de prensas mecânicas ou manuais, sendo o tipo de prensa determinado pelas características e demandas específicas para cada obra. A etapa da cura e armazenamento é decisiva para a eficiência dos blocos produzidos e, por isso, devem ser empilhados assim que retirados da "fôrma", evitando danos provocados por movimentações dos blocos ainda úmidos. Embora possa ser utilizado com sete dias de estocagem, somente após 28 dias o processo de cura estará completo e o tijolo atingirá aproximadamente 95% da resistência total.

O tijolo de solo-cimento favorece a construção modular, otimizando tempo e recursos na execução da obra. Os tijolos são assentados modularmente de forma que estejam interligados em múltiplos sentidos, proporcionando a distribuição dos pesos dos tijolos para as cintas de amarração e colunas de sustentação, sendo estas os

pilares de tijolo de solo-cimento com graute locados ao longo de todas as paredes homogeneamente.

O simples sistema de encaixe facilita o assentamento dos blocos, auxiliando para que a parede fique no prumo, além de evitar o aparecimento de fissuras ou trincas devido às suas juntas regulares. Segundo a empresa SAHARA (2001), para executar o assentamento e rejunte de tais blocos modulares utiliza-se um filete de cola PVA branca, argamassa AC1 – sendo esta comumente utilizada para o assentamento de revestimentos e pisos cerâmicos em ambientes internos -, ou massa de solo-cimento, sendo esta última com as seguintes proporções: 1 litro de cimento; 1 litro de cola PVA e 12 litros de solo. Durante o assentamento do tijolo de solo-cimento, é necessário atentar para a dilatação do material. Caso não haja espaço para a expansão e retração, os blocos se chocarão entre si e causarão trincas e fissuras.

Este sistema construtivo modular oferece também a vantagem de embutir as colunas estruturais na própria parede, sem a necessidade de caixas de madeira e grandes volumes de concreto. As paredes deverão ser amarradas com grampos, encaixados em pequenos sulcos cavados nos tijolos, ou diretamente através da simples amarração do bloco. Tal procedimento deve ser repetido a cada meio metro para preenchimento adequado, resistência e firmeza da construção, enchendo os furos reservados às colunas estruturais de concreto após cada amarração com grampos (Figura 10). A localização e quantidade das colunas estruturais devem ser previstas e calculadas em projeto por um engenheiro calculista, assim como é importante lembrar, que a solução estrutural apresentada é válida para construções abaixo de três pavimentos, acima disto são necessárias colunas de alvenaria tradicionais.

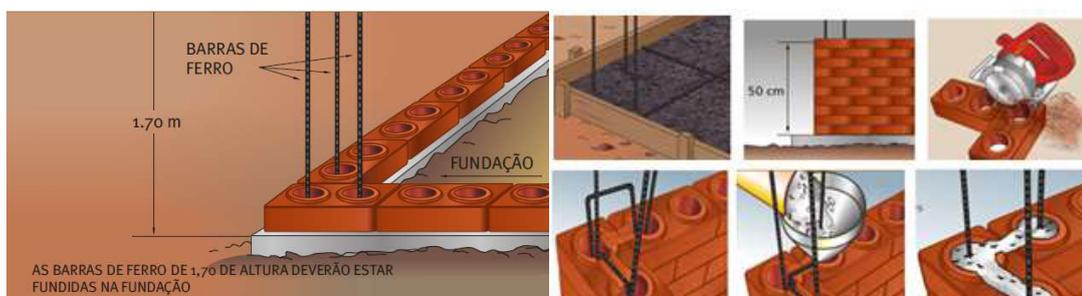


Figura 11: Estrutura em alvenaria de tijolos de solo-cimento.  
Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

É necessário também que ao longo do levantamento da alvenaria, os blocos sejam molhados para evitar o surgimento de trincas. Com a altura do pé-direito alcançada, executa-se a cinta de amarração com blocos do tipo canaleta, sendo que podem ainda substituir as vergas e contra-vergas. Na etapa das instalações nas edificações, os furos dos blocos funcionam como condutores de passagem da rede hidráulica e elétrica. A existência desses furos, além de promover conforto termo acústico, evita a quebra de paredes.

Quanto aos acabamentos, percebe-se uma dispensa por coberturas de massas devido à ausência de irregularidades na alvenaria, sendo suficiente um rejuntamento entre os tijolos e uma camada de resina acrílica ou tinta nas superfícies. Porém, isto não impede o acabamento das paredes por revestimentos cerâmicos ou pinturas. Ainda assim, a camada de massa para revestimento é fina, enquanto a camada para tijolos convencionais deve ser espessa para corrigir as imperfeições. Para verificar todas as informações acerca do sistema construtivo do tijolo de solo-cimento, é necessário consultar “Anexos A”.

O tijolo de solo-cimento possui perceptíveis vantagens em aspectos construtivos e ambientais. Embora as vantagens econômicas variem de acordo com a localidade, existem alguns aspectos em economia comuns em todos os casos. Destacam-se as seguintes vantagens:

- Baixa agressividade ao meio ambiente, pois ao dispensar a queima dos tijolos uma grande quantidade de monóxido de carbono deixa de ser emitida na atmosfera. Gases poluentes consequentes do processo de produção de tijolos convencionais não são lançados na atmosfera, segundo Motta, Morais e Rocha (2014);
- Eliminação do desmatamento da vegetação nativa, muito utilizada em fornos para a queima dos tijolos convencionais, evitando a queima de 12 árvores de médio porte ou 170 litros de óleo a cada milheiro de tijolos (Casanova, 1988). A ausência da necessidade do consumo de madeira se dá por conta da cura hidráulica;
- Redução de lançamentos de resíduos de obras no meio ambiente, já que não há desperdício de material durante a execução e nem necessidade de quebra

dos tijolos para as instalações elétricas e hidráulicas no sistema construtivo modular (Taveira, 1987);

- Resistência à umidade mais elevada que tijolos convencionais, enquanto estes facilmente são enfraquecidos e perdem sua resistência se não forem protegidos (ABCP, 2009);
- Propriedades facilmente corrigíveis e adaptáveis ao uso, já que é possível adicionar mais solo, fibras, ou outros aglutinantes sem prejudicar o resultado (MINKE, 2005);
- Em comparação à alvenaria tradicional de blocos cerâmicos, uma alvenaria executada com tijolos solo-cimento apresenta ótimo isolamento térmico, uma vez que a terra é má condutora de calor; e isolamento acústico, já que os furos formam câmaras de ar que dificultam a passagem de ondas sonoras. (SILVA, 2005).
- Redução de aproximadamente 50% da argamassa de rejunte e uma simplificação na elevação da alvenaria, viabilizando a construção com metade da mão de obra especializada normalmente requerida em alvenarias tradicionais, conforme Carvalho e Poroca *apud* Pecoriello (2003);
- Economia total no final da obra entre 20% a 40% quando comparado à alvenaria tradicional de blocos cerâmicos, segundo Figuerola (2004);
- Ausência de necessidade de mão de obra especializada para a fabricação dos tijolos de solo-cimento bem como execução das edificações, visto que sua tecnologia de construção é simples e fácil aprendizagem. Dessa forma, a organização de grupos familiares e comunitários para maior redução de gastos econômicos e energéticos é uma boa solução (SILVA, 2005).

Embora as desvantagens sejam quantitativamente menores, alguns pontos inviabilizam totalmente a construção da edificação. Segue abaixo algumas desvantagens do ponto de vista econômico e construtivo:

- O solo é altamente variável. A presença de substâncias deletérias para o processo de cimentação, como o húmus, cloretos e sulfatos inviabilizam a aplicação do solo. A solução desses problemas é dispendiosa por requerer pessoal qualificado e constantes análises de material (CASANOVA, 1988);

- Rejeição cultural por grande parcela da população, pois ainda se associa bastante o uso desta técnica às pessoas de menor poder aquisitivo;
- Trincas devido à expansão e contração de blocos mal fabricados ou curados (PECORIELLO, 2003).

Dessa forma, o tijolo de solo-cimento possui significativa potencialidade de aplicação em habitações. Com a constatação da crise dos modelos de construção estabelecidos na atualidade, a arquitetura e construção com terra retorna como uma alternativa sustentável mais emergencial.

## **2.5 Resíduos da construção civil**

Alguns fatores devem ser avaliados nas atividades construtivas sob a ótica da sustentabilidade, dentre eles, cita-se: consumo de energia, consumo de água, poluição (atmosférica, hídrica, auditiva, etc.), geração de resíduos e extração de recursos naturais. Vale ressaltar que determinados fatores citados são considerados durante as fases de concepção, planejamento da obra, execução e operação da construção até a sua finalização, envolvendo todas as etapas construtivas.

Uma construção sustentável consiste em uma visão de inclusão social, de forma econômica e ambientalmente correta. De acordo com Sattler (2007):

Estima-se que 50% dos recursos materiais extraídos da natureza estão relacionados à atividade de construção; mais de 50% da produção de resíduos provém do setor de construção e 40% da energia consumida na Europa está associada à atividade da construção. (...) Levantamentos realizados no NORIE identificaram um consumo de mais de 2 toneladas de materiais de construção, por metro quadrado de área edificada, para a construção de uma edificação habitacional. (KUHN, 2006, p.175 apud SATTLER, 2007, p.4).

Nas cidades brasileiras, o resíduo de construção e demolição (RCD) – um dos principais resíduos resultantes do setor da construção civil - representa de 41 a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999). Logo, a indústria da construção civil possui uma grande responsabilidade pela degradação ambiental no planeta. Pinto (1999) afirma que a necessidade de preservação ambiental e a possível escassez dos recursos naturais levam a construção civil à aquisição de novos conceitos, buscando soluções técnicas que visem à sustentabilidade de suas

atividades. De modo geral, inúmeros dados evidenciam a emergência por um desenvolvimento sustentável e por uma responsabilidade socioambiental na indústria da construção civil, principalmente na busca por soluções voltadas à problemática dos resíduos.

A Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, CONAMA, explana que os resíduos da construção civil são aqueles gerados através de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, como por exemplo: tijolos, concreto em geral, blocos cerâmicos, resinas, colas, tintas, solos, rochas, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, fiação elétrica entre outros, que são geralmente chamados de entulhos de obras. Estes resíduos representam um percentual significativo dos resíduos sólidos gerados e depositados nas áreas urbanas. Foi verificado também que um bom gerenciamento e reaproveitamento desses materiais proporcionam benefícios de ordem social, econômica e redução dos danos ambientais.

Vale lembrar que de acordo com a resolução CONAMA nº 431/2011, os resíduos de construção são classificados em quatro grupos (Tabela 4):

Tabela 4: Classificação dos Resíduos da Construção Civil – CONAMA 2011

| <b>CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (CONAMA N° 431/2011)</b> |   |
|--|---|
| <b>CLASSE</b>  | <b>DESCRIÇÃO</b>  |
| A  | Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (componentes cerâmicos, tijolos, blocos, telhas e placas de revestimento, concreto e argamassa). |
| B  | Resíduos recicláveis com outras destinações (plásticos, gesso, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, etc.).                                       |
| C  | Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações que permitam a sua reciclagem ou recuperação.                          |
| D  | Resíduos perigosos oriundos de processo de construção (tintas, solventes, óleos, amianto) e resíduos contaminados.                                    |

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Os resíduos de construção civil, em sua maioria, concentram-se na Classe A, sendo estes caracterizados por sua facilidade de reutilização e reciclagem.

Sjöström (1996) afirma que em um metro quadrado de construção são gastos cerca de uma tonelada de materiais e o setor da construção ainda é responsável pela

maior geração de resíduos de toda a sociedade. Ainda sobre o problema dos resíduos, John (2004) enfatiza que o volume de entulhos de construção e demolição gerados pela construção civil chega a ser duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano.

No contexto local, segundo Macedo (2012), “a construção civil na cidade de São Luís é responsável pela geração de 40% dos resíduos sólidos urbanos, estima-se que cada habitante da cidade produza 0,51 t/ano de RCD (resíduo da construção e demolição)”. Os resíduos resultantes da construção civil na Ilha de São Luís poderiam estar sendo aproveitados para diversos fins, porém somente uma pequena parcela é reciclada.

Segundo Brito Filho (Apud Oliveira, 2002, p.7):

Os materiais descartados pelas obras de construção civil que são gerados nas cidades constituem em verdadeiras jazidas de matérias primas que não são aproveitadas e causam grandes prejuízos à qualidade de vida de seus habitantes além de criar uma imagem negativa para as administrações públicas. A questão dos entulhos de construção civil pode ser uma alternativa interessante para os municípios que sofrem com as transformações urbanas e que se deparam com problemas de gerenciamento dos rejeitos de construção civil (Brito Filho apud Oliveira, 2002, p.7).

Conforme Baptista e Romanel (2013), o “impacto ambiental causado pela produção e descarte de resíduos da indústria da construção civil é um dos principais do planeta, seja pela quantidade descartada diariamente ou pelo uso irracional das jazidas de recursos naturais” (BAPTISTA; ROMANEL, 2013). Portanto, os resíduos decorrentes da construção civil são anteriores ao início de qualquer obra ou serviço - não restrito a um canteiro de obras -, ao se observar que a produção de insumos para a construção civil além de consumir recursos naturais também produz resíduos. Isto é, o RCC pode ser oriundo de obras viárias, material de escavação, demolição de edificações, construções, renovação de edifícios, limpeza de terrenos, e até mesmo de catástrofes naturais ou artificiais. Dessa forma, os resíduos de construção civil podem ser encontrados nas mais diversas áreas de um macro complexo (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Outros autores também demonstram os impactos dos resíduos. Segundo Paschoalini Filho, Dias e Cortes (2014), o crescimento do setor industrial da construção civil, sendo este alavancado tanto pelo panorama econômico quanto pela

necessidade de atender aos déficits habitacionais e de infraestrutura, é responsável por uma considerável pegada ambiental, quer seja pela crescente demanda por matérias primas naturais, ou pela geração de resíduos durante a demolição de edifícios antigos ou execução novas obras.

De forma geral, a exploração predatória ou o desperdício dos recursos naturais deixam às populações futuras o ônus dos erros cometidos. Para evitar este legado, a reciclagem ou reaproveitamento de materiais torna-se de fundamental importância e como alternativa mais racional para a preservação dos recursos naturais. Assim, a reciclagem de resíduos da indústria da construção civil ou decorrente da própria atividade construtiva é o primeiro passo a ser dado nesta direção (BRITO FILHO, 1999).

De acordo com Brito Filho (1999), as formas de reaproveitamento dos materiais descartados a serem reciclados são: emprego em obras de pavimentação, regularização e cascalhamento de ruas de terra, obras de drenagem, execução de contra-pisos e produção de concretos.

Nota-se a necessidade de novas possibilidades que reduzam a quantidade de resíduos industriais gerados nos centros urbanos. A utilização desses resíduos é benéfica para toda a sociedade, pois além dos resíduos obterem uma destinação correta, ainda podem ser reaproveitados como matéria prima para geração de novos produtos da construção civil. Além disso, ao agrupar materiais disponíveis ou com possibilidade de reciclagem, proporciona-se desdobramentos de acordo com os resultados dos experimentos.

### 2.5.2 Reciclagem: Alternativa Sustentável?

Segundo Boff (2012), a razão economicista tem agregado valores ambientais ou sustentáveis a produtos e serviços como forma de impulsionar o consumo por uma parcela da população mais consciente ambientalmente. Em muitos casos, as soluções verdes são apenas ilusão ao consumidor ao incorporar um falso caráter sustentável às mercadorias. Contudo, sob outra perspectiva é possível observar o fomento de pesquisas em torno de produtos que visem a sustentabilidade em seus materiais, processos de produção e descarte.

De forma geral, todo descarte requer uma destinação. Grande parcela do material a ser descartado necessita de um imediato destino, por não se adequar a nenhum tipo de aproveitamento. Contudo, a outra parcela que é potencialmente aproveitável, deve ser conduzida aos processos de reuso ou de reciclagem.

A reciclagem - ou reaproveitamento - de resíduos é destacada nesta pesquisa como alternativa sustentável por consistir em uma solução para a problemática ambiental recorrentemente apontada pelo senso comum e meio técnico-científico: seja como forma de reduzir a degradação do meio ambiente, seja para redução da exploração de recursos naturais (BRITO FILHO, 1999). Contudo, tais alternativas também são consideradas como a oportunidade de reciclar o próprio sistema capitalista, permitindo a continuidade de sua expansão em meio às barreiras ecológicas encontradas.

O principal objetivo da reciclagem consiste na redução da quantidade de materiais que entram e saem do ciclo econômico, evitando assim os custos ambientais da extração e do processamento de materiais virgens e das medidas de remoção dos resíduos (YOUNG, 1991).

Visto que a palavra-chave na reciclagem é custo ambiental, tanto da extração de matérias primas quanto da disposição final de resíduos, a reciclagem e o reaproveitamento do RCD têm se destacado como alternativas ligadas aos conceitos de sustentabilidade, embutindo valor econômico nos materiais descartados nas obras de engenharia. A prática da reciclagem e mudança no destino dos resíduos promove ganhos em toda uma esfera, pois criam-se condições que geram benefícios sociais a toda a sociedade (STEPHANOU, 2009).

No entanto, vale ressaltar que cabe ao cidadão, individualmente, refletir sobre o destino de resíduos, dejetos e sobras, produzidos e consumidos gradualmente em maior quantidade e mais concentradamente no território urbano. Contrariamente às medidas frequentemente tomadas pelos cidadãos, os ambientalistas já apontam a ineficiência da camuflagem dos impactos dos resíduos através do acúmulo dos rejeitos industriais e pessoais em depósitos. Segundo Montibeller Filho (1999, p. 93), “o comportamento de ‘esconder da visão’, enterrando-os, lançando-os ao mar ou em áreas de pouca circulação humana, é denunciado pelos ambientalistas, conscientes

de que o processo de degradação do meio não acaba mediante a camuflagem realizada”.

O mesmo autor também enfatiza que apesar dos estudiosos apontarem a reciclagem dos materiais usados como uma grande solução, nem mesmo a indústria da reciclagem de tais resíduos é capaz de erradicar eficazmente o problema da degradação ambiental nos atuais níveis e nas previsões projetadas.

De todo modo, outro ponto que merece destaque é a necessidade de redução da quantidade de resíduos gerada. Embora seja importante para o meio ambiente, a reciclagem de materiais depara-se com limites que impedem o desenvolvimento de todo o seu potencial (MONTIBELLER FILHO, 1999). Portanto, embora a reciclagem ou reaproveitamento de resíduos seja considerada como importante mecanismo no desenvolvimento sustentável, é necessário que outras medidas corroborem com a redução dos impactos da indústria da construção civil ao meio ambiente.

A reciclagem, com todos os seus benefícios e entraves, permite tanto uma destinação desejável a boa parte dos resíduos gerados e lançados em áreas que afetam a população mais pobre, quanto favorece a redução de custos de habitações quando materiais construtivos incorporam tais resíduos, muitas vezes, decorrentes da própria indústria da construção civil.

Isto pode ser demonstrado por Paschoalin Filho et al (2013), ao tratar sobre os aspectos gerais do manejo de resíduos gerados por operações de demolição das obras de reforma da Arena Palestra Itália (Allianz Parque), localizada na cidade de São Paulo. Por meio de atividades de reciclagem e reuso destes materiais no canteiro das obras, obtiveram resultados positivos. Os resíduos produzidos foram majoritariamente do tipo Classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados) e a gestão dos mesmos ocasionou algumas vantagens à obra realizada (PASCHOALIN FILHO et al., 2013).

A seguir, destacam-se algumas das conclusões com a prática da reciclagem na obra de reforma acima citada. A primeira conclusão refere-se à reutilização de resíduos gerados pela construção civil como importante ação de sustentabilidade, reduzindo por meio da reciclagem e reuso destes, os volumes gerados por este setor. Além disso, a geração de subprodutos, originados por esta logística, permite também a utilização racional dos insumos de construção, acarreta a maior eficiência de

utilização e reduz a necessidade de matéria prima. A outra conclusão ressalta os ganhos econômicos pela utilização de ferramentas de gestão e manejo dos resíduos de demolição gerados pela obra em estudo, visto que houve redução dos custos envolvidos no transporte e descarte destes resíduos bem como a redução da necessidade de aquisição de matéria prima virgem para a realização de algumas fases da obra (PASCHOALIN FILHO et al., 2013).

Desse modo, a incorporação de resíduos da construção civil em outros elementos construtivos, mais especificamente resíduos provenientes de demolição e construção, viabilizam benefícios econômicos, ambientais e sociais.

### 2.5.3 Resíduos em tijolos de solo-cimento

Existem elementos construtivos que se enquadram na categoria sustentável por seu método de fabricação, matéria-prima ou seu ciclo de vida. A pesquisa presente seleciona o tijolo de solo-cimento como objeto de estudo, sendo este material totalmente reciclável e incombustível, podendo ser decomposto novamente e lançado ao meio ambiente, com uma ressalva aos materiais agregados à mistura (CASANOVA, 1988). Além disso, o tijolo de solo-cimento abrange tanto a reciclagem de resíduos quanto uso de matéria-prima natural, pois uma das vantagens dos blocos de solo estabilizado é a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais (CARNEIRO; BRUM; CASSA, 2001).

O reaproveitamento de resíduos da construção civil em tijolos de solo-cimento busca o aperfeiçoamento de um material construtivo já categorizado como sustentável. A eficácia da inserção de materiais alternativos no que diz respeito às propriedades físicas e mecânicas dos tijolos, acarretaria a redução dos impactos ambientais e inovação de suas características tradicionais. Dessa maneira, a indústria da construção civil exerce considerável impacto ao aplicar os princípios sustentáveis do design em suas atividades. Embora tal indústria ainda seja mais lenta na assimilação de novas tecnologias, muitas empresas e segmentos no Brasil vêm despertando ao admitir alternativas que visam a mitigação da degradação ambiental.

Dessa forma, o aproveitamento de resíduos para uso como pozolanas têm aumentado significativamente, pois os resíduos com propriedades pozolânicas são

extremamente atraentes para uso em construção civil através da substituição dos aglomerantes clássicos. De forma geral, a viabilidade técnica da utilização de diversos resíduos na fabricação de blocos de alvenaria já foi estudada. Em tijolos de solo-cimento também já houve incorporação de resíduos específicos da construção civil e, como demonstrado por Patricio et al. (2013), os resultados obtidos mostraram que a adição do resíduo de concreto ao solo melhorou as propriedades mecânicas dos tijolos solo-cimento, possibilitando redução de custos e produção de blocos prensados de melhor qualidade, constituindo-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento deste material (PATRICIO et al. 2013).

Outro estudo pode ser destacado devido ao seu resultado positivo. Silva et al. (2014) aborda a incorporação de resíduos cerâmicos em tijolos feitos com misturas solo-cimento e adição de resíduos de construção e demolição (RCD), com cal hidratada e cimento Portland CII F-32. Os autores avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de tais tijolos pressionados uniaxialmente e concluíram os melhores resultados a partir dos percentuais de 12% de cimento e 4% de resíduos cerâmicos. Portanto, o RCC utilizado especificamente nos dois estudos apresentados foi o resíduo de concreto e o resíduo cerâmico, deixando um leque de materiais alternativos em disponibilidade para estudo.

A inserção do pó de brita em elementos construtivos, sendo este um resíduo proveniente de atividades indiretas do setor da indústria da construção civil (desenvolvimento de matéria-prima), aponta a utilização eficiente do resíduo em argamassas, conforme Santos, Lira e Ribeiro (2012). Os autores demonstram a potencialidade do material através do seu reaproveitamento, incentivando testes em outros elementos construtivos. Outros estudos ressaltam a grande produção destes resíduos de britagem em decorrência do crescimento da indústria da construção civil, e conseqüentemente a maior geração de resíduos. A busca por resíduos em materiais de escavação, demolição de edificações, construções ou limpeza de terrenos também estão inclusas na esfera dos resíduos da construção civil.

Um ponto que merece destaque é o benefício econômico da reciclagem de resíduo de demolição e construção (RCD) para as cidades em que é implantada, pois “além da diminuição dos custos de gerenciamento do resíduo, o custo do produto reciclado é bem menor que o agregado natural”. (BRASILEIRO; MATOS, 2015). A

reciclagem e o reaproveitamento do RCD têm se destacado como alternativas ligadas aos conceitos de sustentabilidade, embutindo valor econômico nos materiais descartados nas obras de engenharia. Uma das desvantagens citadas pelos autores quanto a utilização de RCD, é o fato de que ainda não há áreas suficientes para o recebimento dos resíduos, assim como também se exige um alto investimento inicial para a implantação da gestão ambiental de resíduos.

De forma geral, diversos estudos demonstram a eficiência de resíduos provenientes da indústria da construção civil, sendo alguns propriamente estudados em tijolos de solo-cimento. Portanto, é válido aprofundar os estudos que visem o aperfeiçoamento da técnica de reciclagem dos resíduos, considerando as diferentes localidades com suas respectivas particularidades de matéria-prima.

Nesta pesquisa, propõe-se além da composição original solo-cimento, analisar mais três composições com diferentes percentuais de resíduos de construção e demolição (RCD) em relação à massa do solo, segundo os parâmetros utilizados por Segantini, Souza e Pereira (2007):

- Solo + cimento + 20% de RCD;
- Solo + cimento + 40% de RCD;
- Solo + cimento + 60% de RCD.

Os traços das composições determinados para esta pesquisa serão abordados de forma mais detalhada no item “3. Materiais e Métodos”, bem como todos os processos inerentes à etapa experimental.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possui caráter experimental sob a ótica dos seus procedimentos, visto que consiste na determinação de um objeto de estudo, na seleção das variáveis capazes de influenciá-lo e na definição das normas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 1999). Segundo o mesmo autor, esta pesquisa é exploratória, uma vez que possui como objetivo o desenvolvimento, esclarecimento e modificação de conceitos ou ideias, visando a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para futuros estudos. Além disso, sendo os resultados passíveis de quantificação e mensuração (FONSECA, 2002), a abordagem da pesquisa é classificada como quantitativa.

Quanto a sua natureza, é considerada como pesquisa aplicada por investigar classes gerais de problemas de design que podem gerar conhecimentos para a aplicação prática, envolvendo interesse locais (DALFOVO; LANA; SILVEIRA, 2008). Esta pesquisa aplicada possui o traço comum da tentativa sistemática de reunir uma ou várias hipóteses de casos individuais, que podem explicar o fenômeno (BUCHANAN, 2001). Segundo Frankel e Racine (2010), a pesquisa aplicada conduz os estudos através do design. O design é o meio para alcançar um objetivo ainda maior. Neste contexto, o compósito em si não é um fim, mas a possibilidade de obtenção de um design sustentável.

A metodologia desta pesquisa é dividida em três etapas: fundamentação teórica, experimentação e análise dos resultados. A pesquisa prossegue com a etapa da experimentação baseada em normas existentes, como a ABNT NBR 8491/1984, ABNT NBR-8492/1984 e diretrizes da Associação Brasileira de Cimento Portland.

Para comprovação da hipótese e para o alcance dos objetivos, realiza-se a maior parte da pesquisa em ambiente experimental nos laboratórios disponíveis na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) e no SENAI DI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Distrito Industrial).

## **3.1 Materiais**

### 3.1.1 Matéria-prima

Para a produção do compósito, materiais e equipamentos devem ser criteriosamente selecionados para a etapa experimental. O compósito elaborado para esta pesquisa compreende os seguintes materiais: Solo, Cimento Portland, água e resíduos de demolição e construção (RCD).

#### 3.1.1.1 Solos

A disponibilidade da matéria-prima na área de estudo é determinante para a aplicabilidade da técnica abordada. Antes da etapa da extração do solo, é imprescindível a verificação da existência do solo adequado na região. Conforme Lopes (2002), em geral todos os solos podem ser utilizados para a produção de solo-cimento. Entretanto, para a obtenção de uma mistura econômica, o emprego de solos que exigem baixo teor de cimento é primordial, considerando que o solo consiste aproximadamente 85% em massa da mistura.

O solo arenoso-argiloso, onde há maior percentual de areia e menor de argila, é o solo capaz de produzir tijolos com características ideais e de menor custo de produção. Segundo Figuerola (2004), os solos mais indicados são aqueles que possuem de 50% a 70% de teor de areia no composto. Assim, não ocorre a necessidade de correções através da adição de uma quantidade maior de cimento, podendo ser feitas correções com simples adição de areia pura ou de solo arenoso (Cury apud Figuerola, 2004).

O solo arenoso-argiloso é encontrado em jazidas próprias, de cor avermelhada ou amarelo-escura. Como a areia pura não contém argila, não se torna adequada para o solo-cimento, pois resultaria na produção de blocos de concreto ao invés de tijolos de solo-cimento (CAMPOS, 2012).

Nos municípios da Ilha de São Luís, é possível encontrar formações geológicas que apresentem solos arenosos, aos quais se denota aptidão ao aproveitamento através da estabilização por solo-cimento (PINHEIRO, 2010).

Conforme recorte do mapa na Figura 09 e dados do IBGE (2013), a Ilha do Maranhão ou Ilha de São Luís possui predominância dos solos Latossolos e Gleissolos.

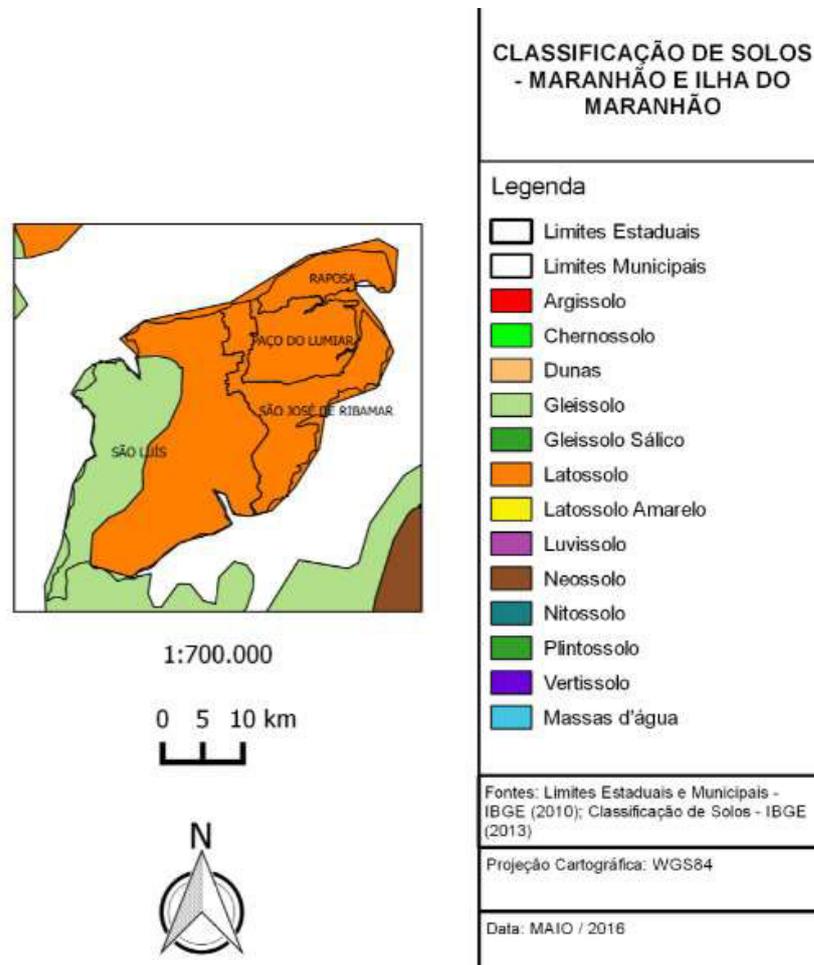


Figura 12: Recorte do Mapa – Classificação dos solos no Maranhão  
Fonte: IBGE (2013), produzido por LIMA (2016).

Ao focar na classificação dos solos em cada um dos quatro municípios que constituem a Ilha de São Luís, verifica-se a nítida predominância do Latossolo amarelo (LA). Apesar dos municípios São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa compreenderem outros tipos de solo, tais como Solo de Mangue (SM), Gleissolos (G) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV), destaca-se o Latossolo Amarelo, em cor amarela, conforme Figura 10 abaixo. Para visualizar os mapas com mais detalhes, torna-se necessário verificar “Anexos B”.

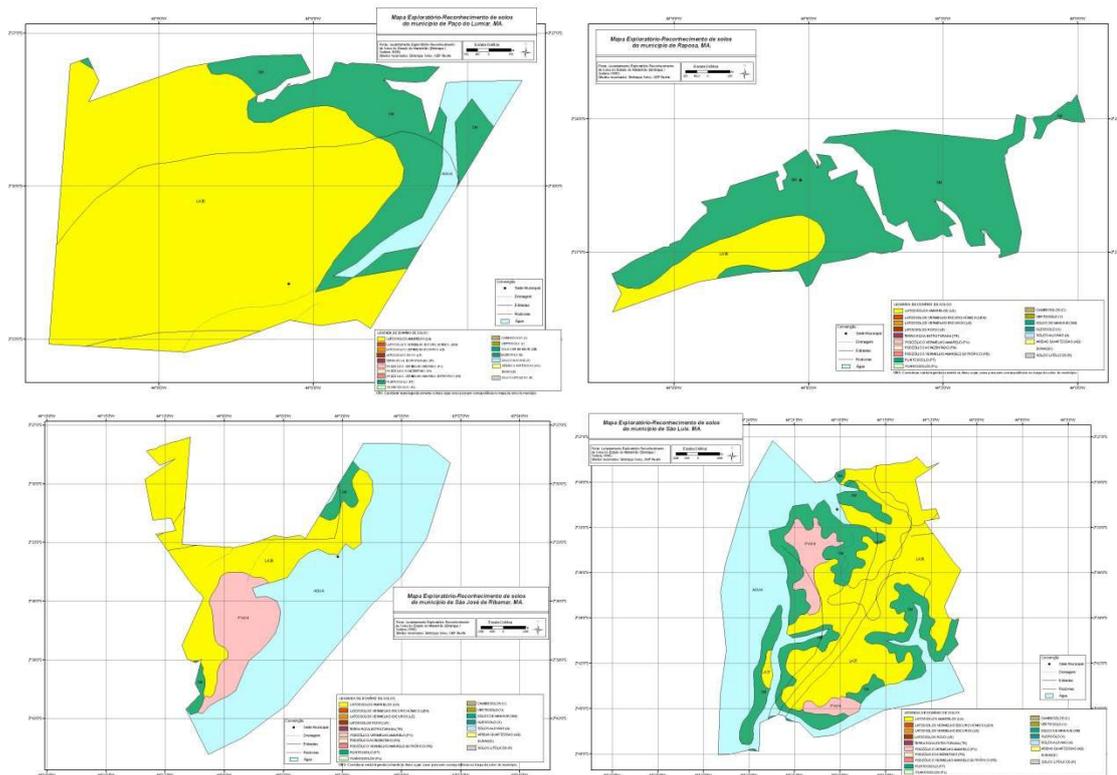


Figura 13: Mapa Exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Maranhão.  
 Fonte: Embrapa/Sudene, 1986 (UEP Recife).

Conforme os mapas mais específicos acima, destacam-se dois solos predominantes nos municípios da Ilha de São Luís: Solo de mangue (cor verde), que compreende a classificação dos Gleissolos; e Latossolo-amarelo (cor amarela), que consiste em uma das ramificações do Latossolo.

Segundo a Embrapa (1999), os Gleissolos são solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa. A Embrapa caracteriza tais solos como:

Solos bastante diversificados em suas características físicas, químicas e morfológicas, devido às circunstâncias em que são formados, de aporte de sedimentos e sob condição hidromórfica. (...) ocupam os ambientes de várzeas úmidas e baixadas mal ou muito mal drenadas, em relevo plano sob vegetação de campos higrófilos e hidrófilos de várzea que são sujeitos a períodos longos de alagamentos e, com menos frequência, a floresta perenifólia de várzea (EMBRAPA, 1999).

Os Latossolos, porém, são solos bastante uniformes em termos de cor, textura e estrutura. Estes solos podem ser encontrados facilmente em florestas tropicais, em clima úmido e de temperatura altas. Geralmente são solos velhos e profundos, compostos predominantemente por material mineral, com predominância de textura

argilosa. Apresentam teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. Segundo a Embrapa, são solos com alta permeabilidade à água, podendo ser trabalhados em grande amplitude de umidade. Segundo Góis (2012):

As argilas constituintes destes solos são predominantemente do tipo caulinita, cujas partículas são revestidas por óxidos de ferro, responsáveis pelas cores avermelhadas. Possuem textura e granulometria uniforme, boa drenagem e baixo teor de silte, possuindo em sua composição agregados muito pequenos, o que proporciona uma alta permeabilidade à água (GÓIS, 2012, p.25).

Há uma subclassificação para a categoria de Latossolos, como Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-escuro, Latossolo Amarelo, etc. No caso em questão, tendo o Latossolo Amarelo como solo de maior concentração no território da Ilha, é importante enfatizar que dentre os variados tipos da categoria, este é o que possui possíveis problemas físicos relacionados à permeabilidade e a infiltração de água devido à elevada coesão de seus agregados, além da alta saturação por alumínio, sendo este solo extremamente duro quando seco (SOUSA; LOBATO, 2005).

Ambos os solos possuem baixo teor de argila e razoável quantidade de areia. Tal conclusão não anula a execução de testes granulométricos em laboratório ou em campo para comprovação da adequabilidade do solo a ser utilizado. Porém, segundo Neves et. al. (2005):

Independentemente (sic) da qualificação do solo, através de ensaios em laboratório, o conhecimento popular na arte de construir com terra pode indicar decisões, mesmo empíricas, tão eficientes quanto à quantificação resultante de ensaios normalizados, executados em laboratório. Os testes de campo, que resultam de uma saudável combinação entre o saber popular e o conhecimento do meio técnico, são, muitas vezes, as únicas provas que se podem fazer para selecionar a terra e construir (NEVES, 2005, p.50).

Após caracterização física dos solos predominantes na área de estudo, percebe-se a predisposição dos mesmos como possível matéria-prima para a aplicação na massa dos tijolos de solo-cimento.

O solo utilizado para esta pesquisa foi coletado em áreas pertencentes ao município de São Luís. Além disso, ambos os solos coletados são classificados como Latossolo-amarelo. Por isso, avaliando os solos predominantes na Ilha, selecionou-se dois tipos de solo (Figura 14): um com características mais arenosas (Solo 01) e outro com características mais argilosas (Solo 02).



Solo 01: Arenoso

Solo 02: Argiloso

Figura 14: Solos coletados.  
Fonte: Autora (2018).

A amostra do Solo 01 foi coletado no bairro do Angelim, cujas coordenadas geográficas são: 2°31'54" S; 44°13'46" W. E a amostra do Solo 02 foi coletado no bairro Vinhais, cujas coordenadas geográficas são: 2°31'11" S; 44°15'01" W. Apesar da curta distância, aproximadamente 2,72 km, entre os pontos de coleta selecionados e da sua localização dentro da área de classificação do Latossolo-amarelo, visivelmente os solos possuem características diferentes.

Ambos os solos são oriundos em área de vegetação nativa e com pouca exploração do homem. O mapa abaixo aponta a localização dos pontos de coleta (Figura 15):





Figura 15: Mapa com pontos de coleta.  
Fonte: Google Earth, 2018.

### 3.1.1.2 Resíduo de construção e demolição (RCD)

Os resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados em diferentes canteiros de obras. No geral, foram selecionados entulhos de revestimentos/pisos cerâmicos, tijolos e telhas (Figura 16) para serem triturados posteriormente.



Figura 16: RCD triturado.  
Fonte: Autora (2019)

Os canteiros de obras estavam situados nos seguintes bairros: Cohab Anil III, Cohama e Cohajap. Caracterizadas como obras de reformas residenciais de pequeno porte, os canteiros referentes a estas obras já tiveram seus entulhos deslocados para outros pontos. Além disso, foram selecionados pelo descarte predominante de materiais de ordem cerâmica, sendo este uma das condicionantes desta pesquisa.

### 3.1.1.3 Cimento Portland

Nesta pesquisa, o cimento selecionado para a etapa experimental foi o CP-II, isto é, o Cimento Portland composto. Este é o mais utilizado no país, atendendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira (ABCP, 2018). É importante destacar que a pesquisa também buscou trabalhar com materiais encontrados em abundância e de fácil aquisição no local de estudo. Assim, o cimento selecionado é o mais utilizado na região com alta demanda nas lojas de construções.

Além disso, buscou-se um cimento cujas especificações técnicas atendessem às demandas de resistência e durabilidade necessárias para a realização desta pesquisa. O cimento tipo CP-II Z possui uma boa resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo (ABCP, 2018). É conhecido por Cimento Portland Composto devido a sua composição com adição de outros materiais na sua mistura que proporcionam um menor calor de hidratação, isto é, promove a liberação de menos calor quando em contato com água.



Figura 17: Cimento utilizado em pesquisa.  
Fonte: Autora (2019).

Desse modo, conforme a figura 17 acima, especificou-se o Cimento Poty - uma marca de cimento pertencente ao Grupo Votorantim -, com a classificação CP-II Z 40. Também denominado por Cimento Portland com adição de material Pozolânico, trata-se de um cimento versátil e indicado para todas as etapas da obra, com secagem

3 vezes mais rápida e 20% mais resistência que o cimento indicado para obras gerais (ABCP, 2018).

Segundo o fabricante, o cimento escolhido é composto por clínquer (calcário e argila) e pozolana, rochas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza. Possui as especificações técnicas (Tabela 5):

Tabela 5: Especificações técnicas do cimento CP II Z – 40, da marca Poty.

| Tipo | Sigla   | Norma | Clínquer + Gesso | Material Pozolânico | Material Carbonático |
|------|---------|-------|------------------|---------------------|----------------------|
| II   | CP II Z | 11578 | 76 a 94%         | 6 a 14%             | 0 a 10%              |

Fonte: Autora (2019)

De acordo com a NBR 11578 (1991) sobre Cimento Portland composto, o tipo CP II-Z é um cimento comumente utilizado em obras marítimas, industriais e subterrâneas. Isto se deve ao seu percentual de 6% a 14% de pozolana, o que assegura uma maior durabilidade e impermeabilidade ao concreto produzido com este tipo de cimento. Sua classe de resistência varia entre: 25, 32 e 40 MPa.

Como a mistura padrão de estudo desta pesquisa é solo-cimento-resíduo, para cada uma das composições se utilizou o mesmo teor de cimento em relação à massa da composição solo-resíduo: 8% de cimento. Optou-se por este percentual de segurança na mistura, embora outros estudos demonstrem resultados positivos na resistência mecânica dos corpos de prova com até mesmo com 6% de cimento nas composições (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2007).

#### 3.1.1.4 Água

A água é sempre utilizada em pequenas proporções durante o processo de misturas da massa de solo-cimento. Entretanto, a água é componente fundamental para a plasticidade e resistência mecânica do solo, além de viabilizar a conformação e manuseio da massa misturada em fôrmas antes do seu endurecimento (SILVA, 2005).

A água utilizada nesta pesquisa é proveniente do laboratório de cerâmica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), fornecida pela rede de abastecimento

comum da cidade. A quantidade de água destinada a cada mistura variava de acordo com o tipo de solo e os percentuais da granulometria do RCD. No tópico Métodos, será descrito mais detalhadamente sobre o acréscimo da água às diferentes misturas e os critérios utilizados.

Vale destacar que durante a fabricação dos tijolos solo-cimento ou mesmo produção de compósitos, nenhum resíduo líquido prejudicial ao meio ambiente é gerado, caso seja necessário descartá-lo durante o processo.

### 3.1.2 Equipamentos

Quanto aos equipamentos, é imprescindível o uso de instrumentos e máquinas para a fabricação de corpos de prova e blocos maciços. Segue abaixo:

- Triturador;
- Peneira com trama maior (mesh nº 4 / abertura 4.75 mm) para limpeza dos resíduos;
- Jogo de peneiras para ensaio granulométrico (mesh nº 7, 8 e 9);
- Agitador magnético para ensaio granulométrico;
- Molde para confecção dos corpos de prova (cilindro com diâmetro de 50mm e altura de 100mm);
- Fôrma para ensaio de retração;
- Objetos de apoio, como bacias, baldes, luvas, pilões e toalhas;
- Câmera fotográfica;
- Balança semi-analítica;
- Prensa para ensaio de compressão.

Nas descrições dos métodos, os equipamentos utilizados serão descritos detalhadamente à medida que se explana os processos presentes na etapa experimental.

## 3.1 Métodos

No Brasil, a fabricação dos tijolos é regulamentada pelas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Considerando as normas técnicas

para blocos de solo-cimento, sem função estrutural, segue-se as diretrizes utilizadas nesta pesquisa, desde dosagens adequadas a execuções dos ensaios necessários:

- NBR 7181 – Solo: Análise granulométrica –1984;
- NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento – 1984;
- NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água de tijolos maciços de solo-cimento para alvenaria – 1984;
- NBR 7182 – Ensaio de compactação – 1986;
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensas manuais – 1989;
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – 2012;
- NBR 12024 - Solo-cimento: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos – 2012;
- NBR 12025 - Solo-cimento: Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – 2012;

Ao aplicar tais normas, destaca-se alguns dos processos da etapa experimental: preparação dos resíduos e solos (seleção, limpeza, trituração, mistura); ensaios granulométricos para caracterização do solo; definição do traço para a mistura dos materiais; moldagem dos corpos de prova; cura dos corpos de prova; e os ensaios físicos: retração, absorção de água e resistência à compressão simples. Os procedimentos realizados em laboratório avaliarão as variáveis das composições de solo-cimento e RCD.

A última etapa refere-se à explanação de resultados e discussão dos mesmos através da análise dos dados coletados nos testes de ensaios físicos. Finaliza-se com a conclusão da existência ou não da viabilidade técnica para fabricação de blocos/tijolos de solo-cimento-RCD, partindo do princípio da eficiência do compósito definidos ao corpo de prova.

### 3.1.1 Preparação do solo

Sendo assim, a primeira etapa foi a Preparação do Solo. Após a coleta e transporte dos solos, a secagem foi necessária para dar continuidade às próximas etapas. Os dois solos (solo 01 e solo 02) foram armazenados em montantes sobre uma lona durante três dias, até que o solo estivesse seco o suficiente para peneiração e moagem. Com o solo seco, utilizou-se uma peneira grande para retirada de sujeiras, pedregulhos maiores e resíduos orgânicos (sementes e folhagens).

Em seguida, ocorreu a etapa do destorroamento ou moagem (Figura 18). Os solos foram destorroados manualmente e com auxílio de um pilão em torrões de solo maiores, deixando sua granulometria mais homogênea para os posteriores ensaios granulométricos.



Figura 18: Destorroamento do solo.  
Fonte: Autora (2018).

### 3.1.2 Análise granulométrica do solo

Do solo já destorroado, foram coletados duas porções de 1 kg do solo vermelho e solo marrom para realização da análise granulométrica no Laboratório de Materiais Cerâmicos do Departamento de Mecânica dos Materiais no Instituto Federal do Maranhão – IFMA, campus Monte Castelo (Figura 19). As peneiras utilizadas, de acordo com NBR 7181 (1984), possuem as seguintes aberturas de malhas: 4, 8; 2,0; 0,84; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm. Os resultados, bem como gráficos e tabelas, podem ser vistos no item “4. Resultados e Discussão”.



Figura 19: Ensaio de peneiramento - série de peneiras padronizadas e aparelho elétrico de peneiramento.  
Fonte: Acervo da autora (2018).

É importante ressaltar que os testes obedeceram às normas técnicas: NBR 6457 – Preparação de amostras de solo; DNER-ME 041/94 – Solos: Preparação de amostras; NBR 7181 (ABNT 1984c) – Solo: Análise granulométrica.

A granulometria de um solo tem influência direta no custo e na qualidade do solo-cimento, visto que os solos mais indicados para confecção da mistura são os solos com características arenosas. Por isso, o ensaio serviu para calcular os percentuais de arenosidade de cada amostra de solo para verificação da compatibilidade dos percentuais ideais indicados em literatura.

Após o ensaio de peneiramento das amostras de solo, deu-se prosseguimento à seleção dos demais materiais do compósito.

### 3.1.3 Preparação do RCD

Os resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados de diferentes canteiros de obras. No geral, foram selecionados entulhos de cerâmica, tijolos e telhas. Ambos foram misturados e lançados no Triturador e posteriormente peneirados em trama maior (mesh nº 4 / abertura 4.75 mm) para retirada de sujeiras, sementes e vegetações (Figura 20).



Figura 20: Trituração e Limpeza do RCD.  
Fonte: Autora (2018)

Devido a persistência de grãos maiores após a trituração por equipamento, as porções de resíduos passaram por um processo de tritura manual através do pilão. Em seguida, os resíduos selecionados foram separados em conformidade com as numerações das seguintes peneiras (FARIAS; GUILHON; SANTOS, 2016): Peneira mesh nº 4, apenas como separador inicial dos grãos maiores; Peneira mesh nº 7 (2,83mm); Peneira mesh nº 8 (2,38mm); e Peneira mesh nº 9 (2,00mm).

Para facilitar as descrições dos processos e resultados, a pesquisa utilizará abreviações para as peneiras granulométricas utilizadas para classificar o RCD, conforme Tabela 6 a seguir:

Tabela 6: Classificação das peneiras de RCD

| <b>PENEIRAS GRANULOMÉTRICAS - RCD</b> |                   |                      |
|---------------------------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Peneira</b>                        | <b>Mesh/malha</b> | <b>abertura (mm)</b> |
| P7                                    | 7                 | 2,83                 |
| P8                                    | 8                 | 2,38                 |
| P9                                    | 9                 | 2,00                 |

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Desse modo, obtém-se três diferentes granulometrias de RCD para a confecção de corpos de prova (Figura 21), respectivamente P7, P8 e P9. Assim, todos os resíduos passantes na peneira de limpeza inicial com mesh nº 4 e abertura de 4,76mm, são retidos na P7 com abertura de 2,83mm. Assim, a granulometria do RCD retido na P7 é variável entre 4,76mm e 2,83mm. Do mesmo modo, prossegue-se com a classificação dimensional dos grãos do RCD retido e passante na P8 (com granulometria variável entre 2,83mm e 2,38mm) e P9 (com granulometria variável entre 2,38mm e 2,00mm). O RCD passante na P9 não é utilizado nesta pesquisa.



Figura 21: Granulometria do RCD.  
Fonte: Acervo da Autora (2018)

#### 3.1.4 Traços estudados

Os traços de cimento e das misturas foram definidos levando-se em consideração estudos semelhantes feitos anteriormente, e o conhecimento adquirido por professores e acadêmicos durante os estudos na temática da pesquisa. Contudo, foi estabelecido previamente a necessidade de minimizar o consumo do cimento Portland e reduzir a quantidade de solo natural utilizada na composição dos corpos de prova.

Sendo o compósito constituído por solo, cimento, RCD e água, as três diferentes granulometrias estabelecidas serão utilizadas nas misturas com três diferentes percentuais de RCD: 20%, 40% e 60% (SEGANTINI; SOUZA; PEREIRA, 2007). O cimento permanece com uma quantidade fixa em todas as misturas e o solo varia mediante a quantidade de RCD acrescentada. Desse modo, existem três variáveis na execução das misturas (Figura 22):

- Tipo de solo: solo 01 e solo 02;
- Granulometria de RCD: Peneira mesh nº 7, Peneira mesh nº 8 e Peneira mesh nº 9;
- Percentual de RCD: 20%, 40% e 60%.

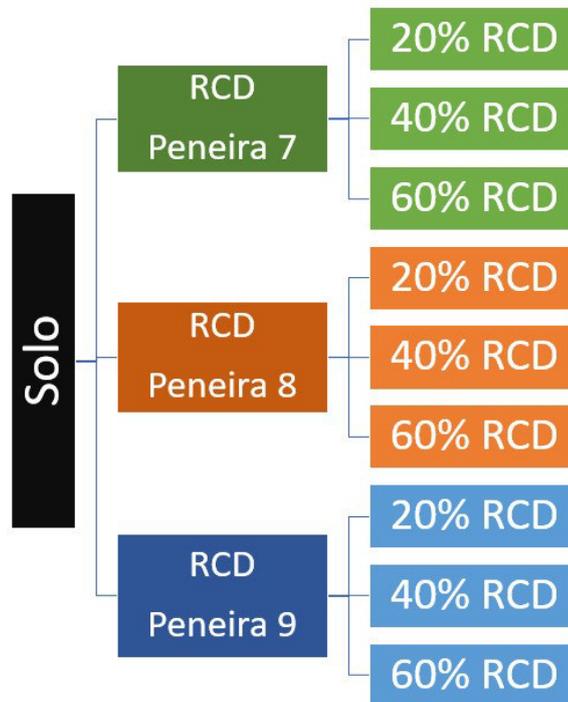


Figura 22: Esquema de Variáveis.  
Fonte: Autora (2018)

A Tabela 7 a seguir explana os traços utilizados nas misturas em cada uma das três granulometrias de RCD nos dois solos. Vale ressaltar que também foram confeccionadas misturas com a fórmula original solo-cimento, logo sem a incorporação de RCD na mistura.

Tabela 7: Traços das composições.

| TRAÇOS GERAIS |          |             |         |           |
|---------------|----------|-------------|---------|-----------|
| PENEIRA RCD   | SOLO (%) | CIMENTO (%) | RCD (%) | TOTAL (%) |
| -             | 92       | 8           | -       | 100       |
| 7, 8 e 9      | 72       | 8           | 20      | 100       |
|               | 52       | 8           | 40      | 100       |
|               | 32       | 8           | 60      | 100       |

Fonte: Autora (2018)

Quanto ao teor de água, foi determinado que a adição de água à mistura homogeneizada, fosse realizada aos poucos até que a massa alcançasse uma consistência adequada para a moldagem. A verificação da consistência da massa foi feita por meio de um teste visual e manual, isto é, quando apertasse uma parte da mistura com uma mão e ela ficasse com as marcas dos dedos, sendo que ao ser lançada no chão sob altura de cerca de um metro, a massa se esfacelasse ao atingir a superfície. Conforme a Figura 23 abaixo:



Figura 23: Teste visual e manual da massa.  
Fonte: Autora (2018).

### 3.1.5 Teste de Retração

Com os percentuais definidos, prossegue-se a etapa experimental com o teste de retração. Assim, foi fabricada uma fôrma com cinco moldes acoplados a fim de analisar os quatro tipos de misturas (solo-cimento, solo-cimento + 20% RCD, solo-cimento + 40% RCD, solo-cimento + 60% RCD) simultaneamente.

Nesta etapa pretende-se verificar a presença de argilas expansivas na composição do solo que podem comprometer o desempenho do material durante a secagem devido à retração. Caso sejam encontradas argilas expansivas, pode ocorrer o surgimento de fissuras e trincas.



Figura 24: Mistura dos elementos do compósito.  
Fonte: Autora (2018).

Os ensaios de retração seguiram as recomendações do CEPED (1984) e foram realizadas com as três granulometrias de resíduos (passantes na peneira 7, 8 e 9). Aproximadamente 4 kg de materiais - amostra de solo, RCD e cimento – foram misturados manualmente e umedecidos até a obtenção de uma massa plástica (Figura 24), sendo esta inserida nos moldes da fôrma com as seguintes dimensões: 60,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de espessura.



Figura 25: Teste de Retração.  
Fonte: Autora (2018)

Com o adensamento manual, conserva-se a massa em repouso à sombra por sete dias (Figura 25). Em seguida, realiza-se a verificação da medida da retração no sentido do comprimento da caixa, para conferir se a soma das leituras é inferior a 20 mm e se a amostra não apresenta alguma fenda transversal na parte central do

material (CEPED, 1984). Foram feitos testes de retração, considerando cada uma das granulometrias de RCD (peneira mesh nº 7, 8 e 9) em três percentuais de RCD.

A cura de todos as diferentes misturas se deu num período de 07 dias sob galpão coberto e protegidas das intempéries. Após esse período, foram analisadas as composições presentes nas fôrmas em busca de possíveis fissuras.

Segundo a fórmula abaixo (SANTOS, 1992), calcula-se o percentual de retração linear resultante das composições.

$$RL_S(\%) = \frac{L_C - L_S}{L_C} \cdot 100$$

Onde:

$RL_S$  = Retração Linear da secagem

$L_C$  = Comprimento do corpo de prova cru

$L_S$  = Comprimento do corpo seco

É importante destacar que esta fórmula foi utilizada apenas para composições que obtiveram alterações. Em composições que não foram visualizadas qualquer descolamento ou fissura do material, conclui-se a aprovação neste ensaio.

### 3.1.6 Confeccção dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos foram moldados no cilindro de PVC (diâmetro= 50 mm; altura= 100 mm), com uma compactação manual realizada em três camadas. Após a confeccção, os corpos de prova foram transferidos para área arejada, onde permanecerão em cura até a data da realização dos ensaios de compressão simples e absorção.

Para cada traço determinado, três corpos cilíndricos foram utilizados nos ensaios de absorção e outros três nos ensaios de resistência a compressão simples. Por fim, todos os corpos de prova cilíndricos foram confeccionados em conformidade com as normas NBR 8492 (ABNT, 1984d) e NBR 12024 (ABNT, 2012)

Assim, a etapa experimental deu continuidade com a elaboração das demais misturas para a confeccção dos corpos de prova. Seguindo as mesmas granulometrias e percentuais já estabelecidos, nesta etapa obedeceu-se ao período de cura mínimo

de 28 dias e estendeu-se a realização dos ensaios para a quantidade de 156 dias de cura.



Figura 26: Corpos de prova em processo de cura.  
Fonte: Autora (2018).

Com os corpos de prova devidamente secos (Figura 26) após 156 dias de cura, a etapa experimental segue com os testes de resistência a compressão e absorção de água.

#### 3.4.7 Ensaio de resistência à compressão simples

A resistência a compressão simples do solo-cimento é um dos parâmetros mais importantes do solo-cimento, visto que está intimamente ligada ao desempenho das paredes de uma edificação. Os ensaios de resistência a compressão serão realizados segundo as normas NBR 12024 (ABNT, 1992b), NBR 8492 (ABNT, 1984e), NBR 8491 (ABNT, 1984d) e NBR 12025 (ABNT, 1990).

A NBR 8491 (ABNT, 1984d) determina que a resistência média dos tijolos de solo-cimento deve ser igual ou superior a 2,0 MPa aos sete dias de cura, mas que os valores individuais não podem ser inferiores a 1,7 MPa. Com base em pesquisas anteriores, Segantini (2000) e Ferraz (2004) por exemplo, conclui-se que a resistência do solo-cimento aumenta de forma considerável ao longo do tempo, sendo que o período mínimo aconselhado é 28 dias.

Ressaltando novamente, esta pesquisa realiza os ensaios dos corpos de prova aos 156 dias de cura. Optou-se por um limite único de dias de cura, ou seja, foi estabelecido 156 dias para realização única dos ensaios com todos os corpos de prova. Para materiais alternativos e de baixo custo como este estudado, não se faz

necessário um controle rigoroso de cura. Assim, a pesquisa não obteve outras variáveis para análise, como o tempo de cura do compósito, valendo-se apenas das variáveis já explanados: tipo de solo, percentual de RCD e granulometria das peneiras.

Os valores individuais de resistência à compressão dos corpos, expressos em MPa, serão obtidos ao dividir a carga máxima notada durante o ensaio pela média das áreas das duas faces de trabalho, segundo os procedimentos da norma. E posteriormente, é retirada a médias dos três corpos individuais.



Figura 27: Equipamento para ensaio de compressão.  
Fonte: Acervo da autora (2019).

O equipamento utilizado possui as seguintes especificações: HD-20T / Prensa elétrica Servo Controlada, Capacidade de 20 toneladas, marca Contenco (Figura 27). Os corpos foram submetidos aos ensaios de compressão aos 156 dias de cura no laboratório da Escola SENAI DI, situado na BR 135, km 05, São Luís – MA.

Obedecendo às diretrizes da NBR 8492 (ABNT, 1984e) sobre “Tijolo Maciço de Solo-cimento – Determinação da resistência a compressão e da absorção d’água”, foram realizados os ensaios com 60 corpos de provas, visto que 3 corpos de cada composição foram selecionados. No item dos Resultados e Discussão, será exposto os resultados dos ensaios realizados.

### 3.4.8 Ensaio de absorção de água

Nesta etapa, segue-se com as diretrizes da norma NBR 8492 (ABNT, 1984e). Os três corpos de prova de cada composição deverão secar em estufa entre 105° e 110° até a constância de massa, obtendo-se a massa do corpo seco ( $M_1$  em gramas). Depois disso, deve-se imergir o corpo em tanque d'água por um período de 24 horas e, no momento da retirada do corpo, enxugar superficialmente com pano úmido para pesagem do material, obtendo-se a massa do corpo saturado ( $M_2$  em gramas).

O cálculo do percentual de absorção será realizado mediante a fórmula abaixo:

$$A (\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100$$

Onde:

A = Absorção de água, em porcentagem.

$M_1$  = Massa da amostra na condição seca, em gramas.

$M_2$  = Massa da amostra na condição saturada, em gramas.

Em seguida, deve-se retirar a média dos três valores obtidos correspondentes aos corpos de prova individuais.

No laboratório de cerâmica da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, foram selecionados 60 corpos de provas, sendo 3 corpos de cada mistura. Os trios de corpos de prova referentes às suas respectivas misturas foram organizados nas bacias plásticas e demarcados conforme suas especificações.

Em seguida, foi acrescentada uma quantidade de água em cada uma das bacias, de forma que a água ultrapassava a altura da superfície superior de todos os blocos em 5cm. Após o acréscimo da água, os corpos permaneceram submersos por um período de 24 horas no laboratório (Figura 28).



Figura 28: Preparação do ensaio de absorção.  
Fonte: Acervo da autora (2019).

No dia seguinte, cumprindo o prazo de 24 horas de submersão, os corpos são retirados das bacias um por vez seguindo a ordem de pesagem na balança e, utilizando também uma toalha, é tirado o excesso de água de forma que o corpo fique enxuto (Figura 29).



Figura 29: Pesagem dos corpos de prova.  
Fonte: Acervo da autora (2019).

Desse modo, realiza-se o levantamento dos pesos dos corpos de prova de massa saturada. Os resultados serão apresentados e discutidos de forma mais detalhada no próximo capítulo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaios Granulométrico do Solo:

#### 4.1.1 Solo 01 – Arenoso de tonalidade amarela

A amostra ensaiada teve como origem o bairro do Angelim em São Luís – MA. O ensaio foi realizado às 9:15h do dia 19/03/2018 no Laboratório de Materiais Cerâmicos do Departamento de Mecânica dos Materiais no Instituto Federal do Maranhão – IFMA, campus Monte Castelo.

A massa inicial da amostra antes do ensaio: 500g. Quanto ao percentual de perda, durante o ensaio foram perdidos 1,36% da amostra inicial. Segue a Tabela 8 com a análise granulométrica do Solo 01:

Tabela 8: Análise granulométrica – Solo 01

| ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - SOLO 1 |               |                  |                            |                  |                    |                    |            |
|---------------------------------|---------------|------------------|----------------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------|
| PENEIRA                         | ABERTURA (mm) | MASSA RETIDA (g) | MASSA RETIDA ACUMULADA (g) | % RETIDO PARCIAL | % RETIDO ACUMULADO | MASSA PASSANDO (g) | % PASSANDO |
| 4                               | 4,750         | 5,34             | 5,34                       | 1,08             | 1,08               | 487,85             | 98,92      |
| 8                               | 2,360         | 33,11            | 38,45                      | 6,71             | 7,80               | 454,74             | 92,20      |
| 20                              | 0,850         | 105,4            | 143,85                     | 21,37            | 29,17              | 349,34             | 70,83      |
| 40                              | 0,425         | 134,45           | 278,30                     | 27,26            | 56,43              | 214,89             | 43,57      |
| 60                              | 0,250         | 139,51           | 417,81                     | 28,29            | 84,72              | 75,38              | 15,28      |
| 100                             | 0,150         | 37,34            | 455,15                     | 7,57             | 92,29              | 38,04              | 7,71       |
| 200                             | 0,075         | 32,47            | 487,62                     | 6,58             | 98,87              | 5,57               | 1,13       |
| FUNDO                           |               | 5,57             | 493,19                     | 1,13             | 100,00             | 0,00               | 0,00       |
| <b>TOTAL</b>                    |               | <b>493,19</b>    | -                          | -                | -                  | -                  | -          |

Fonte: Operador Abrahão Lima Castro (2018)

A seguir apresentam-se os dados obtidos a partir da análise do gráfico do ensaio granulométrico (Gráfico 1):

$D_{60} = 0,62$

$D_{30} = 0,33$

$D_{10}$  ou *Diâmetro Efetivo* = 0,18

CNU (Coeficiente de Não Uniformidade) = 3,44

CC (Coeficiente de Curvatura) = 0,98

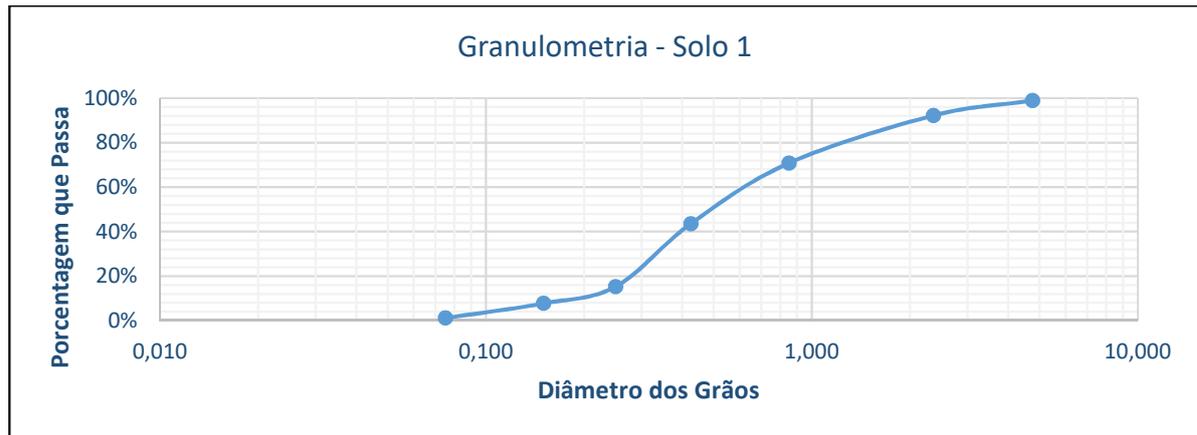


Gráfico 1: Análise granulométrica – Solo 01  
Fonte: Operador Abrahão Lima Castro (2018)

Logo, conclui-se que: o solo analisado, por apresentar um Coeficiente de Não Uniformidade inferior a 5, sendo este coeficiente crucial para compreender a distribuição do tamanho das partículas do solo, considera-se como um solo de granulometria muito uniforme; e por apresentar um Coeficiente de Curvatura aproximadamente entre 1 e 3 (0,98 - real), considera-se um solo bem graduado, visto que o CC do solo analisado foi arredondado para 1.

Vale ressaltar que um solo é considerado bem graduado quando é constituído por grãos com diversos diâmetros, ou seja, possui uma variedade de tamanho de partículas (CAPUTO, 1988). Isto confere ao solo um bom comportamento, visto que as partículas menores preenchem os vazios resultantes das partículas maiores. Dessa forma, o entrosamento das partículas e redução de vazios proporciona menor compressibilidade e maior resistência. Um solo bem graduado melhora a compactação e é considerado melhor que um solo com granulometria uniforme.

Segundo a ABNT NBR 6502/95, o Solo 01 apresenta a seguinte taxa de arenosidade, de acordo com sua granulometria: 91,07%. A subdivisão da fração

arenosa mostrou uma predominância da parte média sobre os demais. Logo, o solo é apresentado como adequado para os ensaios dos corpos de prova, visto que a mistura de solo-cimento é mais eficiente com a presença de solo arenoso.

#### 4.1.1 Solo 02 – Arenoso de tonalidade vermelha

Do mesmo modo, a amostra ensaiada teve como origem o bairro do Vinhais em São Luís – MA. O ensaio foi realizado às 10:30h do dia 19/03/2018 no Laboratório de Materiais Cerâmicos do Departamento de Mecânica dos Materiais no Instituto Federal do Maranhão – IFMA, campus Monte Castelo.

A massa inicial da amostra antes do ensaio: 500g. Quanto ao percentual de perda, durante o ensaio foram perdidos 1,10% da amostra inicial. Segue a Tabela 9 abaixo com a análise granulométrica do Solo 02:

Tabela 9: Análise granulométrica – Solo 02

| ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - SOLO 2 |               |                  |                            |                  |                    |                    |            |
|---------------------------------|---------------|------------------|----------------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------|
| PENEIRA                         | ABERTURA (mm) | MASSA RETIDA (g) | MASSA RETIDA ACUMULADA (g) | % RETIDO PARCIAL | % RETIDO ACUMULADO | MASSA PASSANDO (g) | % PASSANDO |
| 4                               | 4,750         | 12,62            | 12,62                      | 2,55             | 2,55               | 481,86             | 97,45      |
| 8                               | 2,360         | 75,51            | 88,13                      | 15,27            | 17,82              | 406,35             | 82,18      |
| 20                              | 0,850         | 165,52           | 253,65                     | 33,47            | 51,30              | 240,83             | 48,70      |
| 40                              | 0,425         | 90,41            | 344,06                     | 18,28            | 69,58              | 150,42             | 30,42      |
| 60                              | 0,250         | 74,26            | 418,32                     | 15,02            | 84,60              | 76,16              | 15,40      |
| 100                             | 0,150         | 29,12            | 447,44                     | 5,89             | 90,49              | 47,04              | 9,51       |
| 200                             | 0,075         | 41,09            | 488,53                     | 8,31             | 98,80              | 5,95               | 1,20       |
| FUNDO                           |               | 5,95             | 494,48                     | 1,20             | 100,00             | 0,000              | 0,00       |
| <b>TOTAL</b>                    |               | <b>494,48</b>    | -                          | -                | -                  | -                  | -          |

Fonte: Operador Abrahão Lima Castro (2018)

Segue abaixo os dados obtidos a partir da análise do gráfico do ensaio granulométrico (Gráfico 2):

$$D_{60} = 1,2$$

$$D_{30} = 0,42$$

$$D_{10} \text{ ou } \textit{Diâmetro Efetivo} = 0,16$$

$$\text{CNU (Coeficiente de Não Uniformidade)} = 7,50$$

$$\text{CC (Coeficiente de Curvatura)} = 0,92$$

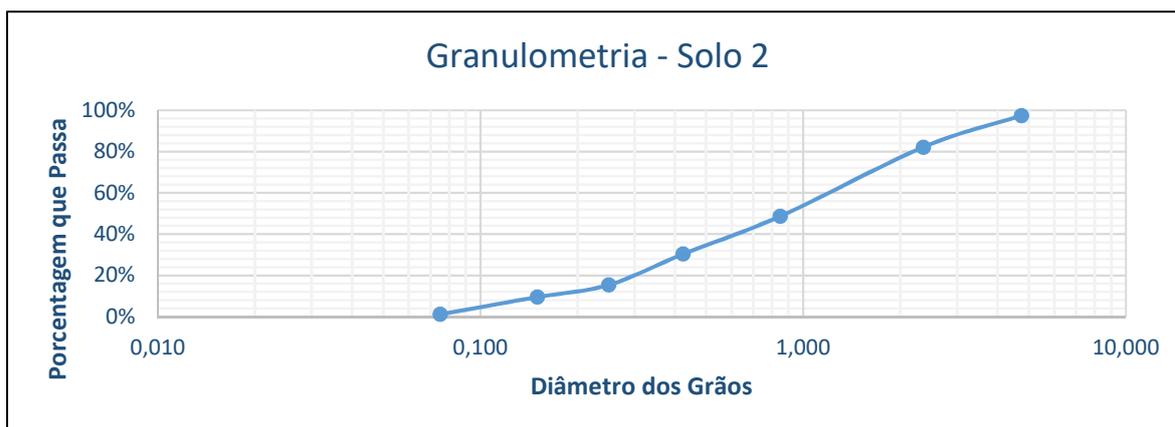


Gráfico 2: Análise granulométrica – Solo 02  
 Fonte: Operador Abrahão Lima Castro (2018)

Logo, conclui-se que: o solo analisado, por apresentar um Coeficiente de Não Uniformidade entre 5 e 15, considera-se como um solo de granulometria de uniformidade média; e por apresentar um Coeficiente de Curvatura fora da faixa entre 1 e 3, considera-se um solo mal graduado. Ou seja, o solo é constituído por grãos que variam dentro de pequenos intervalos e todas as partículas possuem aproximadamente o mesmo diâmetro (CAPUTO, 1988).

Segundo a ABNT NBR 6502/95, o Solo 02 apresenta a seguinte taxa de arenosidade, de acordo com sua granulometria: 80,97%. A subdivisão da fração arenosa mostrou uma predominância da parte grossa sobre os demais grãos. Logo, o solo deste ensaio também é considerado como viável à pesquisa, devido ao percentual elevado de arenosidade existente em sua composição. No entanto, é um solo mais plástico que o Solo 01, uma vez que seu teor de argila é maior.

De forma geral, tais testes serviram para concluir que a Ilha de São Luís possui pontos com solo apropriado para a utilização na produção do tijolo de solo-cimento. No Estado do Maranhão não existem fábricas de tijolo de solo-cimento. Portanto, um breve estudo sobre a existência da matéria-prima adequada já contribui para a análise de viabilidade construtiva local.

#### 4.2 Teste de Retração do Solo

Em todos os testes de retração realizados com RCD na mistura, nenhum molde obteve retração, fissura ou rachadura. No entanto, ao inserir nos moldes a

mistura comum de solo-cimento sem RCD, o solo 02 (Figura 30) apresentou fissuras após 07 dias de cura. A soma das fissuras em 03 pontos da superfície atinge o comprimento de 5 mm.



Figura 30: Teste de retração em mistura solo-cimento.  
Fonte: Autora (2018).

Como o ensaio realizado com o solo natural apresentou retração de apenas 3mm nas extremidades, abaixo, portanto, do limite recomendado pelo CEPED (1984), o composto seria viável. Contudo, apresentou a ocorrência de duas fendas maiores na parte central da amostra; assim, o solo natural em estudo não é apropriado para a confecção do solo-cimento.

Com relação à retração e segundo as recomendações do CEPED (1984), para ser viável na confecção do solo-cimento, a soma das leituras de retração linear nas extremidades da amostra deve ser inferior a 20 mm e não pode haver ocorrência de fendas na parte central da amostra.

Portanto, segundo a fórmula da retração linear (SANTOS, 1992), calcula-se que o percentual resultante da mistura solo-cimento como a utilização do Solo 02 foi 95%.

Quanto às amostras com adição de RCD, cujos ensaios foram realizados nos dois tipos de solo, 3 tipos de granulometria de RCD e 3 percentuais de RCD, não houve o surgimento de fendas nem fissuras e a retração não foi relevante visualmente. Logo, todas as diferentes composições com resíduos demonstram-se apropriadas após o ensaio de retração.

Os próximos testes a serem realizados são os testes de absorção de água e teste de compressão no laboratório da UFMA (Universidade Federal do Maranhão) e do SENAI DI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Distrito Industrial). Dos corpos de prova curados, foram selecionados 03 corpos de cada granulometria (peneira) e percentual de RCD para a execução dos testes restantes.

#### **4.3 Ensaio de resistência à compressão simples**

Para a realização do ensaio de resistência à compressão simples, foram selecionados 60 corpos de provas, sendo 3 corpos de cada variável: solo-peneira-RCD. Além disso, foram separados 3 corpos referentes à composição solo-cimento original de ambos os solos estudados nesta pesquisa.

Segundo a NBR 8491 (ABNT, 1984d), os corpos de prova para blocos de solo-cimento sem função estrutural devem alcançar um valor de resistência maior ou igual a 2,0 MPa. Os corpos abaixo deste nível de resistência, portanto, serão considerados como inadequados nesta pesquisa.

Para análise dos dados, é importante lembrar que as peneiras granulométricas que determinam as diferentes granulometrias de RCD, são denominadas de P7 (Peneira com mesh n° 7 e abertura de 2,83mm), P8 (Peneira com mesh n° 8 com abertura de 2,38mm) e P9 (Peneira com mesh n° 9 com abertura de 2,00mm). E os valores referentes às médias dos corpos de prova (CPs) são denominados por abreviações referentes às suas respectivas linhas (Por exemplo: P9.40 = 4,20 MPa; P8.20 = 2,77 MPa; P7.60 = 1,83 MPa), sendo necessário especificar o tipo de solo. As composições sem adições de resíduos - isto é, solo-

cimento tradicional -, são denominadas por SC01 ou SC02, tendo a variação numérica de acordo com o tipo de solo da pesquisa.

Segue a Tabela 10 com os resultados dos ensaios de compressão.

Tabela 10: Valores do Ensaio de resistência à compressão simples

| ENSAIO DE COMPRESSÃO |                       |         |       |      |      |      |       |
|----------------------|-----------------------|---------|-------|------|------|------|-------|
| SOLO                 | PENEIRA               | RCD (%) | NOME  | Σ    |      |      |       |
|                      |                       |         |       | CP01 | CP02 | CP03 | MÉDIA |
| SOLO 01              | PENEIRA 09<br>(ou P9) | 20      | P9.20 | 3,6  | 3,7  | 3,6  | 3,63  |
|                      |                       | 40      | P9.40 | 4,5  | 4    | 4,1  | 4,20  |
|                      |                       | 60      | P9.60 | 2,4  | 2,2  | 2,6  | 2,40  |
|                      | PENEIRA 08<br>(ou P8) | 20      | P8.20 | 2,1  | 2,5  | 3,7  | 2,77  |
|                      |                       | 40      | P8.40 | 2,7  | 2,2  | 2,5  | 2,47  |
|                      |                       | 60      | P7.60 | 1,08 | 0,94 | 0,88 | 0,97  |
|                      | PENEIRA 07<br>(ou P7) | 20      | P7.20 | 2,5  | 2,2  | 2,3  | 2,33  |
|                      |                       | 40      | P7.40 | 2,6  | 3    | 3,2  | 2,93  |
|                      |                       | 60      | P7.60 | 1,6  | 2,7  | 1,2  | 1,83  |
|                      | SOLO-<br>CIMENTO      | 0       | SC01  | 2,5  | 2,4  | 2,5  | 2,47  |
| SOLO 02              | PENEIRA 09<br>(ou P9) | 20      | P9.20 | 2    | 2,05 | 2,22 | 2,09  |
|                      |                       | 40      | P9.40 | 1,88 | 1,85 | 1,7  | 1,81  |
|                      |                       | 60      | P9.60 | 1,09 | 1,37 | 1,02 | 1,16  |
|                      | PENEIRA 08<br>(ou P8) | 20      | P8.20 | 0,63 | 0,65 | 0,55 | 0,61  |
|                      |                       | 40      | P8.40 | 0,72 | 0,81 | 0,7  | 0,74  |
|                      |                       | 60      | P7.60 | 0,5  | 0,7  | -    | 0,60  |
|                      | PENEIRA 07<br>(ou P7) | 20      | P7.20 | 0,6  | 0,79 | -    | 0,70  |
|                      |                       | 40      | P7.40 | 0,53 | 0,52 | -    | 0,53  |
|                      |                       | 60      | P7.60 | 0,48 | 0,45 | 0,42 | 0,45  |
|                      | SOLO-<br>CIMENTO      | 0       | SC02  | 0,8  | 0,62 | 0,6  | 0,67  |

Fonte: Elaboradora pela autora (2018).

Conforme a tabela acima, é possível tecer considerações dos corpos de prova a partir do tipo de solo, peneiras e percentuais. Iniciando pelo tipo de solo, os corpos de prova confeccionados com o Solo 01 (ou solo arenoso) possui uma resistência mais elevada quando comparado aos corpos de prova do Solo 02. A maior média de resistência encontrada no Solo 01 foi 4,20 MPa, referente ao corpo P9.40 (Figura 31).



Figura 31: Ruptura do corpo de prova com maior resistência (P7.40).

Fonte: Acervo da autora (2018).

Enquanto no Solo 02, obteve-se o valor máximo de 2,09 MPa. Concluindo-se, assim, que este seria o único corpo de prova apto para aplicações em solo-cimento – visto que possui um valor maior que 2,0 MPa, conforme exigido em norma - e os demais estão abaixo da resistência mínima estabelecida pela NBR 8491 (ABNT, 1984d). Quanto aos valores mais baixos do Solo 01 (como o corpo P7.60), este solo ainda possui uma resistência superior ao Solo 02, enquanto o corpo de prova com resistência mais baixa do Solo 02 alcançou apenas 0,45 MPa (P7.40).

Quanto ao comparativo das peneiras granulométricas, tanto o Solo 01 quanto o Solo 02 apresentou a peneira mesh nº 09 (com abertura de 2,83mm) com o melhor desempenho em resistência. Já os índices mais baixos de resistência foram encontrados na peneira mesh nº 08 (com abertura de 2,32mm) do Solo 01 com o valor de 0,97 MPa (P8.60); e na peneira mesh nº 07 (com abertura de 2,00mm) do Solo 02 com o valor de 0,45 MPa (P7.60).

Ao realizar o comparativo do percentual de RCD nos corpos de prova, de forma geral, nota-se que os percentuais de 20% e 40% de RCD na mistura apresentaram os melhores índices de resistência. Por exemplo, os corpos de prova da linha P9.40 do Solo 01 apresentam a média de 4,20 MPa e os corpos de prova da linha P8.20 do Solo 01 apresentam uma média de 2,77 MPa. E ainda no Solo 02, com médias abaixo do exigido em norma, é possível verificar os índices maiores dentro destes dois mesmos percentuais de RCD.

O percentual de 60% de RCD nas composições, entretanto, apresentou os menores valores de resistência, estando abaixo até mesmo da média obtida pelos corpos de prova sem RCD, isto é, apenas com a composição original de solo-cimento. Em todas as três diferentes granulometrias de RCD (P7, P8 e P9) e nos dois tipos de solos, o percentual de 60% de RCD obteve o valor mais baixo quando comparado aos demais percentuais. Isto demonstrou que uma quantidade maior de resíduos na mistura ocasionou a fragilidade do corpo devido a existência de muitos vazios, evidenciado pela textura porosa das superfícies (Figura 32).



Figura 32: Corpo de prova poroso após ruptura.  
Fonte: Acervo da autora (2018).

Para concluir, a média dos corpos de prova da linha P9.40, correspondente ao Solo 01, apresentou o índice mais alto de resistência, isto é, 4,20 MPa. Por outro lado, a média dos corpos de prova da linha P7.60, correspondente ao Solo 02, apresentou o índice mais baixo de resistência, isto é, 0,45 MPa. Esse valor justifica-se pelas características argilosas do solo (Solo 02), pela granulometria mais graúda dos resíduos (P7) e a quantidade percentual elevada de resíduos na mistura (60% de RCD). Durante o ensaio, este último teve sua estrutura rompida mais rapidamente que os demais (Figura 33).



Figura 33: Corpo de prova do Solo 02 denominado P7.60 após ruptura.  
Fonte: Acervo da autora (2018).

Ao analisar as misturas de solo-cimento sem RCD (SC01 e SC02), nota-se que os corpos de prova referentes à linha SC02 obtiveram péssimo desempenho quanto à sua resistência, com a média de apenas 0,67MPa. Assim, este valor aponta mais um importante aspecto para a avaliação do solo mais adequado.

Todavia, o Solo 01 apresentou um valor superior ao mínimo apontado na norma. Com o valor de 2,47MPa, conclui-se que o compósito da linha SC01 estaria apto à modelagem de tijolos de solo-cimento no quesito resistência.

Vale destacar que ainda que os corpos da linha P8.40 referentes ao Solo 01, possuem a mesma média de resistência que as misturas de solo-cimento sem RCD do mesmo solo, isto é, o valor de 2,47MPa.

Sobre o Solo 01, é válido ressaltar que se com o corpo de prova sem adição de RCD é possível atingir uma média aceitável de resistência, quando o corpo de prova contém adição de RCD nota-se um aumento da resistência, principalmente com as considerações de menores granulometrias (P9 e P8) e menores percentuais de RCD (20% e 40%), conforme as ressalvas já elencadas anteriormente.

Logo, não apenas o percentual de RCD na composição interfere diretamente na resistência do corpo de prova, mas a granulometria deste RCD também demonstra resultados significativos para a confecção futura dos blocos.

De acordo com o Gráfico 3 a seguir, cujas colunas em cor marrom representam o Solo 01 e colunas em cor verde representam o Solo 02, perceptivelmente, observa-se o desempenho superior em resistência do Solo 01.

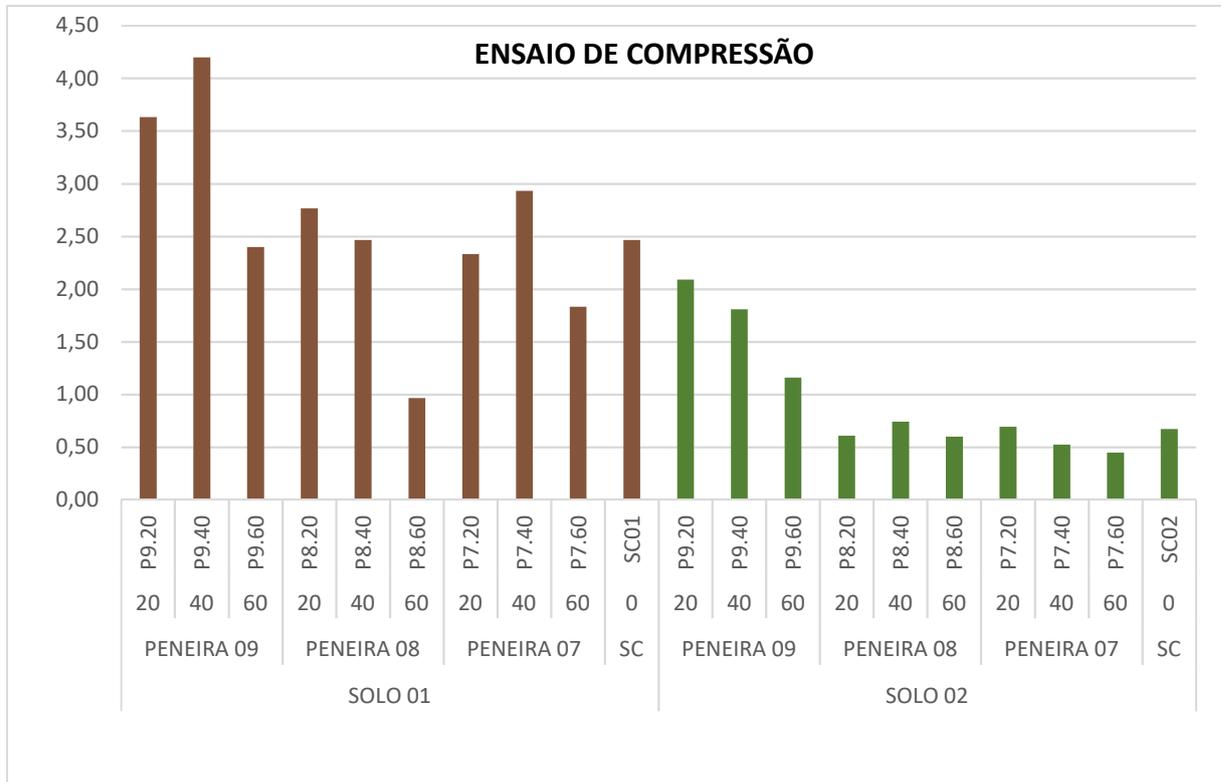


Gráfico 3: Ensaio de absorção dos compósitos.  
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Pelo Gráfico 3, também é possível visualizar o desempenho dos corpos com suas respectivas granulometrias e percentuais de RCD de forma generalizada, destacando novamente o Solo 01 como mais adequado à produção de compósitos nesta pesquisa.

Pelas características geológicas dos dois tipos de solos apresentadas no item “3.1.1.1 Solos”, houve uma confirmação das expectativas neste ensaio de resistência, demonstrando que a etapa prática coincidiu com o plano teórico.

#### 4.4 Ensaio de absorção

Do mesmo modo que o ensaio de compressão, observou-se a NBR 8491 (ABNT, 1984d) e NBR 10836 (ABNT, 2013) para realização do ensaio de absorção.

Do mesmo modo, foram selecionados 60 corpos de provas, sendo 3 corpos de cada mistura para ensaios no laboratório de cerâmica da UFMA. Segue abaixo a Tabela 11 com os dados gerais do ensaio:

Tabela 11: Ensaio de absorção dos compósitos.

| ENSAIO DE ABSORÇÃO |              |            |       |                 |       |       |        |                     |       |       |        |        |             |       |
|--------------------|--------------|------------|-------|-----------------|-------|-------|--------|---------------------|-------|-------|--------|--------|-------------|-------|
| SOLO               | PENEIRA      | RCD (%)    | NOME  | massa seca (M1) |       |       |        | massa saturada (M2) |       |       |        | A (%)  | A (%) média |       |
|                    |              |            |       | CP01            | CP02  | CP03  | MÉDIA  | CP01                | CP02  | CP03  | MÉDIA  |        |             |       |
| SOLO 01            | PENEIRA 09   | 20         | P9.20 | 345,3           | 339,1 | 338,1 | 340,83 | 376,7               | 372   | 370,1 | 372,93 | 9,09   | 10,63       |       |
|                    |              | 40         | P9.40 | 334,1           | 344   | 336,6 | 338,23 | 367,1               | 377,9 | 370,8 | 371,93 | 9,87   |             |       |
|                    |              | 60         | P9.60 | 297,1           | 311,9 | 300,9 | 303,30 | 335,5               | 352,7 | 338,6 | 342,27 | 12,92  |             |       |
|                    | PENEIRA 08   | 20         | P8.20 | 328,1           | 324   | 322,8 | 324,97 | 366,8               | 356,7 | 361,9 | 361,80 | 11,79  | 11,47       |       |
|                    |              | 40         | P8.40 | 338,1           | 329,3 | 327,8 | 331,73 | 375,3               | 366,7 | 364,3 | 368,77 | 11,00  |             |       |
|                    |              | 60         | P8.60 | 303,4           | 326,8 | 316,6 | 315,60 | 338,7               | 363   | 353,1 | 351,60 | 11,63  |             |       |
|                    | PENEIRA 07   | 20         | P7.20 | 330,9           | 338,8 | 329,1 | 332,93 | 365,5               | 373,6 | 363,6 | 367,57 | 10,45  | 12,11       |       |
|                    |              | 40         | P7.40 | 325,2           | 322,5 | 324   | 323,90 | 362,2               | 358,4 | 360,1 | 360,23 | 11,37  |             |       |
|                    |              | 60         | P7.60 | 296,9           | 289,4 | 299,7 | 295,33 | 340                 | 330,5 | 342,9 | 337,80 | 14,51  |             |       |
|                    | SOLO-CIMENTO | 0          | SC01  | 332,7           | 333,2 | 332,8 | 332,90 | 368,1               | 367,9 | 368,2 | 368,07 | 10,64  |             |       |
|                    | SOLO 02      | PENEIRA 09 | 20    | P9.20           | 319   | 319,8 | 313,6  | 317,47              | 360,1 | 360,9 | 355,4  | 358,80 | 12,88       | 13,53 |
|                    |              |            | 40    | P9.40           | 333,1 | 312,8 | 322,4  | 322,77              | 375,1 | 353,6 | 364,5  | 364,40 | 12,60       |       |
| 60                 |              |            | P9.60 | 271,5           | 279,6 | 302,5 | 284,53 | 312,5               | 321,9 | 346,5 | 326,97 | 15,10  |             |       |
| PENEIRA 08         |              | 20         | P8.20 | 315,9           | 315,7 | 308,5 | 313,37 | 356,6               | 358,1 | 348,8 | 354,50 | 12,88  | 16,22       |       |
|                    |              | 40         | P8.40 | 308,9           | 327,4 | 316,1 | 317,47 | 372,5               | 351,9 | 359,4 | 361,27 | 20,58  |             |       |
|                    |              | 60         | P8.60 | 289,6           | 260,5 | 265,3 | 271,80 | 333,6               | 294,2 | 305,2 | 311,00 | 15,19  |             |       |
| PENEIRA 07         |              | 20         | P7.20 | 303,6           | 306,5 | 313,4 | 307,83 | 346,4               | 350,2 | 358,9 | 351,83 | 14,09  | 15,19       |       |
|                    |              | 40         | P7.40 | 302,1           | 304   | 306,1 | 304,07 | 347                 | 349,2 | 351,8 | 349,33 | 14,86  |             |       |
|                    |              | 60         | P7.60 | 269,6           | 256,3 | 249,6 | 258,50 | 314,4               | 300,7 | 291,3 | 302,13 | 16,61  |             |       |
| SOLO-CIMENTO       |              | 0          | SC02  | 295             | 293,5 | 293,8 | 294,10 | 334,9               | 331,4 | 332,3 | 332,87 | 13,52  |             |       |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Para blocos de solo-cimento vazados sem função estrutural, a média dos valores de absorção de água deve ser igual ou menor que 20% e os valores individuais devem ser iguais ou menores que 22%, segundo a NBR 10836 (ABNT, 2013). Portanto, todos os dois solos e as três granulometrias de RCD (P7, P8 e P9) possuem médias satisfatórias ao exigido na norma, uma vez que a média mais alta equivale a 16,22%, referente à peneira com mesh nº 8 (P8) do Solo 02.

Analisando todos os valores individuais, percebe-se que o Solo 01 obteve os menores percentuais de absorção, com variação predominante entre 9% e 14%. Enquanto o Solo 02, obteve percentuais mais próximos aos 20% exigido em norma, com variação predominante entre 12% e 20%.

Ao focar nos valores individuais, todos os corpos de prova também se adequam ao valor máximo de absorção exigido na norma, com destaque ao corpo P8.40 que possui o percentual de absorção mais próximo do limite e ainda assim eficiente: 20,58%. Os valores mais baixos de absorção concentram-se na peneira com mesh nº 09 (P9), Solo 01, com o percentual de 20% de RCD (9,09%) e 40% de RCD (9,87%).

De acordo com o Gráfico 4, sendo que as colunas em cor marrom representam o Solo 01 e as colunas em cor verde representam o Solo 02, é possível visualizar melhor as disparidades, sobretudo entre os percentuais dos dois tipos de solos apresentados.

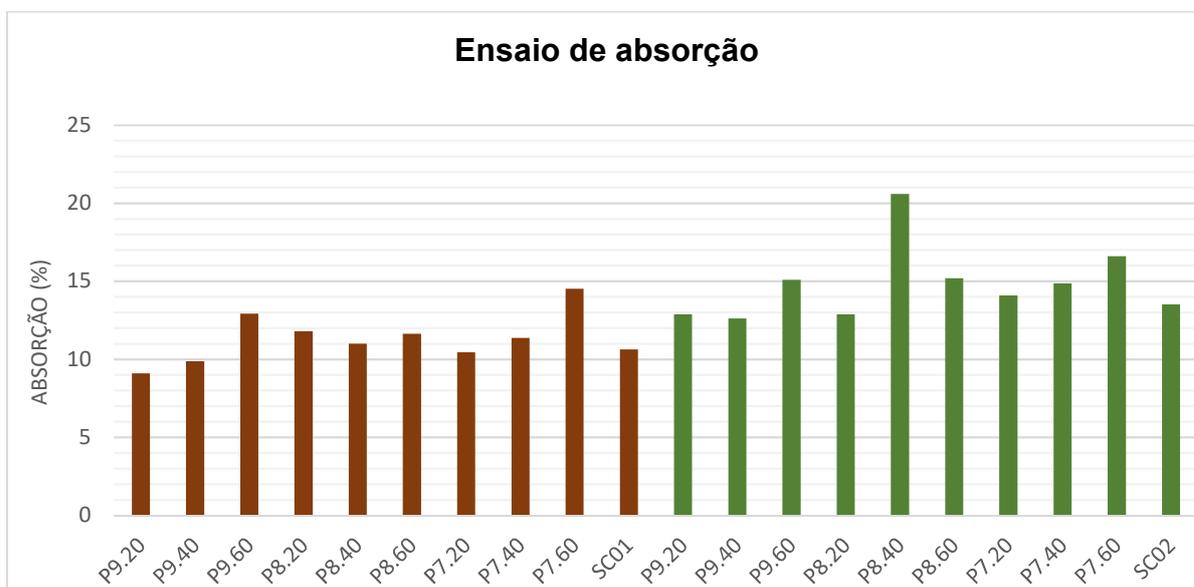


Gráfico 4: Ensaio de absorção dos compósitos.  
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

No que diz respeito às granulometrias de RCD, principalmente no que se refere ao Solo 02, as peneiras P8 e P7 apresentaram os maiores índices percentuais de absorção, sendo mais propícios a conter fissuras e outras patologias durante a cura do material. Quando o resíduo de construção e demolição em maior granulometria é

adicionado como substituto ao cimento Portland, o aumento nos valores de absorção de água ocorre em decorrência da maior rugosidade do RCD e pelos vazios deixados na estrutura. Além disso, o solo 02 possui características geológicas mais argilosas, o que acarreta mais absorção da água. Por isso, uma quantidade maior água foi retida nestas composições.

Vale lembrar que a granulometria do RCD incide nos resultados obtidos. Os corpos referentes ao P9 possuem uma absorção menor de água quando comparado às demais. Isto denota que os grãos menores de resíduos proporcionam o preenchimento de vazios e a maior compactação dos materiais, conferindo mais resistência e menor absorção de água ao compósito.

De forma geral, ao analisar os dados do gráfico e tabela, com as devidas ressalvas, é constatado que a absorção de água aumenta ao adicionar na mistura um percentual a partir de 40% de RCD. Portanto, quanto mais resíduos substituírem o solo e o cimento, mais água será absorvida pelo corpo de prova.

Quanto aos corpos sem adição de resíduos com a composição original de solo-cimento, verifica-se que tais corpos de prova apresentaram valores dentro do limiar exigido pela NBR 10836. Ainda no tocante a estes corpos de prova, o Solo 02 novamente apresenta um nível de absorção maior quando comparado ao Solo 01, porém ainda com bom desempenho e conforme os percentuais exigidos pela norma.

#### 4.5 Análise geral

Segue abaixo uma análise geral (Tabela 12) sobre todos os ensaios realizados com as variáveis consideradas nesta pesquisa. Na Tabela abaixo, é possível verificar as composições que foram reprovadas e sua relação com as demais.

Tabela 12: Análise Geral dos ensaios tecnológicos.

| SOLO    | PENEIRA | RCD (%) | NOME  | ENSAIOS        |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|---------|---------|---------|-------|----------------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
|         |         |         |       | GRANULOMÉTRICO | RETRAÇÃO | ABSORÇÃO | RESISTÊNCIA |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
| SOLO 01 | P9      | 20      | P9.20 | Aprovado       | Aprovado | Aprovado | Aprovado    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 40      | P9.40 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 60      | P9.60 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         | P8      | 20      | P8.20 |                |          |          | Aprovado    | Aprovado | Aprovado | X        |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 40      | P8.40 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 60      | P8.60 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         | P7      | 20      | P7.20 |                |          |          |             |          |          | Aprovado | Aprovado | Aprovado | Aprovado |          |          |          |   |
|         |         | 40      | P7.40 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 60      | P7.60 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         | SC      | 0       | SC01  |                |          |          |             |          |          |          |          |          | Aprovado | Aprovado | Aprovado | Aprovado |   |
| SOLO 02 | P9      | 20      | P9.20 | Aprovado       | Aprovado | Aprovado |             |          |          |          |          |          |          |          |          | Aprovado |   |
|         |         | 40      | P9.40 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 60      | P9.60 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         | P8      | 20      | P8.20 |                |          |          | Aprovado    | Aprovado | Aprovado |          |          |          |          |          |          | X        |   |
|         |         | 40      | P8.40 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 60      | P8.60 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         | P7      | 20      | P7.20 |                |          |          |             |          |          | Aprovado | Aprovado | Aprovado |          |          |          |          | X |
|         |         | 40      | P7.40 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         |         | 60      | P7.60 |                |          |          |             |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|         | SC      | 0       | SC02  |                |          |          |             |          |          |          |          |          | Aprovado | X        | Aprovado |          |   |

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Na Tabela 12 acima, o termo “Aprovado” refere-se aos ensaios que obtiveram êxito nas variáveis estudadas nesta pesquisa, ou seja, tipo de solo, granulometria de RCD e percentual de RCD que são aprovados após os ensaios. O símbolo “X”, por sua vez, demonstra todas as variáveis que não alcançaram o desempenho exigido em normas.

Diante disto, percebe-se que o ensaio de resistência à compressão simples foi crucial para restringir composições e até mesmo o tipo de solo ideal. A partir desta

análise, considera-se apenas o Solo 01 como ideal para os compósitos, visto que o Solo 02 fora reprovado no ensaio de resistência a compressão, tendo apenas um corpo de prova alcançado o limite de resistência de 2MPa. Logo, esta pesquisa descarta a utilização deste tipo de solo para fabricação futura de tijolos de solo-cimento na Ilha de São Luís.

Com todos os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão simples e no ensaio de absorção explanados, segue abaixo esquema com as características das melhores composições sob uma perspectiva conjunta dos ensaios (Figura 34):



Figura 34: Esquema de resultados.  
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

No próximo capítulo, serão discutidas as considerações finais acerca dos melhores resultados obtidos. Também é realizada a apresentação de algumas proposições futuras que podem aperfeiçoar o desenvolvimento do compósito desta pesquisa, bem como o fomento de outras análises relevantes em torno das temáticas estudadas.

## 5 CONCLUSÃO

Nesta dissertação de mestrado, foi pesquisada a viabilidade de compósitos de solo-cimento com a incorporação de resíduo de construção e demolição (RCD) na sua formulação para emprego futuro em tijolos de solo-cimento. Diante dos resultados experimentais obtidos e expostos anteriormente neste trabalho, permite-se as seguintes conclusões abaixo.

No ensaio granulométrico, apesar das diferentes características geológicas, ambos os solos foram aprovados nos requisitos. No ensaio de retração, ambos os solos com adição de RCD foram aprovados no período de cura. No ensaio de resistência a compressão simples, porém, o Solo 01 obteve um desempenho significativamente superior ao Solo 02. E quanto ao ensaio de absorção, ambos os solos tiveram bom desempenho na mistura. Analisando de forma geral, o Solo 01 se enquadrou em todos os ensaios realizados nesta pesquisa. Por isso, as considerações a seguir serão feitas a partir da análise deste solo.

Com o percentual de apenas 8% de cimento nas composições dos corpos, atingiu-se ao objetivo de encontrar compósitos que satisfazem às normas de resistência à compressão e absorção de água para fabricação de tijolos de solo-cimento.

Ficou evidenciado que a incorporação de resíduo de construção e demolição na massa de solo-cimento acarretou alterações nas propriedades tecnológicas e influenciou radicalmente na eficiência do corpo de prova. Isto é, a adição de RCD nos corpos de prova demonstrou que a resistência à compressão simples tende a diminuir e a absorção de água aumentar, com as devidas exceções apresentadas nos tópicos anteriores. Além disso, foi verificado que quanto maior a quantidade de RCD, menor a resistência do compósito.

Considerando o Solo 01 como solo local mais adequado para a fabricação de tijolos de solo-cimento com RCD na Ilha de São Luís, explana-se que quanto aos percentuais de RCD nas diferentes composições:

- o ensaio de resistência a compressão simples conclui que todos os corpos de prova com a incorporação de 20 e 40% de RCD na composição (com

exceção do corpo de prova P9.60), alcançaram os valores mínimos para a resistência a compressão, segundo a NBR 8491 (ABNT, 1984d) e a NBR 10834 (ABNT, 2013).

- O ensaio de absorção de água demonstrou que todos os corpos de prova com 20% de RCD (com exceção do corpo de prova P8.20) apresentaram os valores individuais abaixo de 22% e os valores mais baixos quando comparados aos demais percentuais de RCD em suas respectivas peneiras, em conformidade com a NBR 8491 (ABNT, 1984d) e a NBR 10834 (ABNT, 2013).

Quanto à granulometria do RCD, verificou-se também que as peneiras de mesh nº 9 e 8 apresentam melhores desempenhos de resistência, visto que a granulometria dos resíduos proporciona melhor organização estrutural dos grãos no corpo compactado e reduzindo a incidência de vazios. Em contrapartida, o ensaio de absorção de água apontou que os corpos de prova referentes às peneiras de mesh nº 8 e 7 apresentaram médias de corpos de prova com os índices de absorção de água mais elevados. Logo, a P9 se destaca com os índices mais baixos de absorção dentre todas as composições. Conclui-se, assim, que quanto maior for a granulometria dos grãos adicionados à composição, pior será o desempenho obtido.

Vale ressaltar que a análise de absorção de água realizada acima, considera minuciosamente os índices mais baixos e mais elevados dos corpos de prova, pois todos os índices encontram-se dentro dos percentuais exigidos em norma e aptos à aplicação em tijolos de solo-cimento.

Recapitulando a análise geral, esta pesquisa demonstrou que o percentual de RCD entre 20% e 40% com sua granulometria correspondente às peneiras de mesh nº 8 e 9 incorporado ao Solo 01, apresentou os valores resultantes dos ensaios que denotam aptidão para moldagem de tijolos de solo-cimento.

Ao verificar os resultados dos compósitos com a incorporação de matérias-primas na própria região de São Luís - MA, reitera-se a possibilidade de confecção de materiais de vedação alternativos aos meios tradicionais amplamente utilizados, a fim de contribuir com as necessidades socioeconômicas locais no âmbito habitacional. O

sucesso obtido nos ensaios estimula a fomentação de novos estudos e melhorias nos compósitos para que a aplicação em blocos se torne uma realidade mais concreta.

O design propõe a relação dos materiais com a sustentabilidade, trazendo à tona discussões com um viés mais humanístico e simbólico. A pesquisa demonstra uma interligação de diferentes conceitos e áreas do conhecimento no meio acadêmico, como também enfatiza a necessidade por uma inovação interdisciplinar na busca por novas tecnologias construtivas. Desse modo, os materiais - sendo estes tradicionais, sustentáveis ou inovadores -, devem ser analisados com mais profundidade técnica e criticidade no campo do design. Como os estudos apresentados demonstraram através da proposição deste compósito, o design possibilita uma análise mais integralizada à diversos aspectos.

Para finalizar, o reaproveitamento de resíduos de construção e demolição em composições de solo-cimento possibilita o surgimento de alternativas construtivas viáveis, tanto do ponto de vista tecnológico quanto ecológico. Além de propor uma destinação mais adequada à grande demanda de resíduos resultantes da indústria da construção civil, proporciona a redução de impactos ambientais resultante do processo de fabricação de tijolos cerâmicos tradicionais.

Com a conclusão desta pesquisa e os devidos objetivos alcançados, analisou-se algumas proposições futuras para a continuação da discussão e consequente melhoria dos compósitos estudados. Segue abaixo:

- Elaboração de estudo de viabilidade construtiva de tijolos de solo-cimento em edificação do tipo casas populares;
- Realização de um estudo comparativo de custo de fabricação com tijolos convencionais x tijolos de solo-cimento incorporados com 20% e 40% de RCD com Solo 01;
- Estudos para a destinação dos resíduos de demolição e construção mais finos em outros materiais, visto que uma quantidade significativa de resíduos passantes na peneira 9 foram descartados.
- Realização da coleta de amostras de solo em outros pontos da Ilha de São Luís e com uma distância maior dos pontos já coletados, visando uma avaliação mais abrangente das características do solo na região.

## REFERENCIAS

ABIKO, A. K. **Introdução da gestão habitacional**. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12. São Paulo: EPUSP, 1995.

ABREU, Simone Maria Brandão Marques de. **Aspectos subjetivos relacionados ao design de ambientes: um desafio no processo projetual**. 2015. 159p. Programa de Pós-Graduação em Design. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade do Estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 2015.

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello de Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

ALFONSIN, Betânia de Moraes; FERNANDES, Edésio. **A lei e a ilegalidade na produção do espaço urbano**. Belo Horizonte: Del-Rey, 2003.

ANINK, David; BOONSTRA, Chiel; MAK, John. **Handbook of Sustainable Building – An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment**. London: James & James Ltd, 1996.

AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes**. Grupo de Trabalho de Sustentabilidade, São Paulo: Prata Design, 2012.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materials and design: the art and science of material selection in product design**. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Aplicações de solo-cimento: experiência brasileira**. 1. ed. Estudo Técnico 59. São Paulo: ABCP, 1974.

\_\_\_\_\_. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais**. São Paulo: ABCP, Boletim Técnico BT111, 1985, 5p.

\_\_\_\_\_. **Guia de construções rurais à base de cimento: benfeitorias de uso geral**. São Paulo: ABCP, 2005, 114p.

\_\_\_\_\_. **Dosagem das Misturas de Solo-Cimento: Normas de Dosagem e Métodos de Ensaio**. Estudo Técnico 35. São Paulo - SP: ABCP, 1986, 54p.

\_\_\_\_\_. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland:** Revisado por Arnaldo Forti Battagin e atendendo à nova norma de cimento ABNT NBR 16.697. 10ª ed. São Paulo - SP: ABCP, 2018, 40p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181:** Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 8491:** Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984, 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 8492:** Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984, 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7182:** Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986, 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7182:** Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986, 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10832:** Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. Rio de Janeiro, 1989, 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10832:** Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. Rio de Janeiro, 1989, 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012, 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10834:** Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2012, 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12024:** Solo-cimento: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos, 2012, 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12025:** Solo-cimento: Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos, 2012, 3p.

BALSAMO, Anne. Design. *International Journal of Learning and Media*, v. 1, n. 4, p. 1- 10, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/YwxlhF>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

BANCO MUNDIAL. **América Latina precisa voltar a crescer para avançar contra a extrema pobreza.** 2016. Disponível em:

<<http://www.worldbank.org/pt/news/feature/2016/05/29/latinoamerica-volver-crecer-acabar-pobreza-extrema>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

BAPTISTA JUNIOR; J. V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. Sustainability in the construction industry: a logistic for waste recycling of small works. **URBE - Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, Paraná, n. 5 (2), p. 27–37, 2013.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A. **Blocos de Concreto de Terra: Uma opção interessante para sustentabilidade da construção**. Coletânea Habitare - vol. 2 - Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional, 2008.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Terra crua para edificações. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. [S.I.] IBRACON, 2007.

BELLEN, H. M. v. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV, 2015. 256p.

BEYLERIAN, G. M.; DENT, A. **Ultra materials: how materials innovation is changing the world**. Kingdom: Thame & Hudson, 2007.

BOFF, L. **Sustentabilidade: O que é – O que não é**. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2012.

BONI, Claudio; SILVA, Kelenson; SILVA, José Carlos. A (IN)DEFINIÇÃO DO DESIGN: Os Limites do Design e a Relação com a Arte e a Indústria. In: 11º P&D Design - Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 1., 2014, Gramado. **Anais...** Gramado: UFRGS, 2014, p. 1–12.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, 61, 178–189, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

BRENNER, Rafael. **A construção civil sustentável e as cidades**. 2015. Disponível em: <<http://www.isaebrasil.com.br/artigo/construcao-civil-sustentavel-e-cidades/>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulhos. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 1999, p. 56-67.

BUCHANAN, R. Design Research and the New Learning. **Design Issues**, 17(4), p. 3–24, 2001. Disponível em: <http://www.ida.liu.se/~steho87/desres/buchanan.pdf>. Acesso em: 23. nov. 2017.

CALEGARI, E. P.; DE OLIVEIRA, B. F. Um estudo focado na relação entre design e materiais. **Projetica**, 4(1), p. 49-64, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5433/2236-2207.2013v4n1p49>>. Acesso em: 30. Nov. 2017

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. Aspectos que influenciam a seleção de materiais no processo de design. **ARCOS DESIGN**, 8, p. 1–19, 2014. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/arcosdesign>>. Acesso em: 01. Nov. 2017

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering: An introduction**. 8ª ed. New Jersey: Wiley, 2008.

CALLISTER, Willian. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

\_\_\_\_\_. **Ciência e engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008.

CAMPOS, I. M. **Solo-cimento: solução para economia e sustentabilidade**. Fórum da Construção – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. 2012. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=124>>. Disponível em: 21 jul. 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 5ª Ed. Revisada ampliada. Rio de Janeiro: LTC, 1988. v.1, 2019.

CARDOSO, Rafael. Design, cultura material e o fetichismo dos objetos. **Revista Arcos (ESDI/UERJ)**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 14-39, 1998.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. EDUFBA; Caixa Econômica Federal, Salvador, 2001.

CARVALHO, L. F. M. **Tratamentos de fibras de carnaúba [coperniciaprunífera (miller) H. E. moore] para o desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de polihidroxibutirato**. 2011. 105 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

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

CASANOVA, Francisco José. Tijolos Solo-cimento com resíduos de construção. Artigo. **Revista Techne**, 1988.

CAVALCANTE, Ana Luisa B. L.; PRETO, Seila C. S.; PEREIRA, Francisco A. F.; FIGUEIREDO, Luiz F. G. de. Design para a Sustentabilidade – um conceito interdisciplinar em construção. **Revista Projética** – Revista Científica de Design. Londrina, v.3, n.1, p. 252-263, Julho/2012.

CAVEDON, F. S.; VIEIRA, R. S. Conexões entre desastres ecológicos, vulnerabilidade ambiental e direitos humanos: novas perspectivas. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, 1, n. 1, p. 179-206, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7213/rev.dir.econ.socioambienta.02.001.AO08>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Banco de Dados**. Disponível em <<http://www.cbic.org.br/>> Acesso em: novembro de 2016.

CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. **Manual de Construção com Solo-Cimento**. Camaçari: CEPED, ABCP, 1984.

CIB - Conselho Internacional de Construção (INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB United Nations Environment Programme International Environmental Technology Centre UNEP-IETC). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**. Boutek Report No Bou/E0204, Pretória, CIB/UNEP-IETC, 2002.

CIMINO, M. A. **Construção Sustentável e Eco Eficiência**. 2002. Tese (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002. Disponível em:<<http://www.editorasegmento.com.br/semesp/04378763818/tese433construcao.doc>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. 2a ed. Tradução de Our common future. 1a ed. 1988. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONAMA. **Resíduos da construção civil – nº 431/2011**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>>. Acesso em 18 jun. 2018.

CONCIANI, W. **Geotechnical use of a mini tomography**. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOIL/UNSAT 2002. Paris, França. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2002, p. 447-452.

CORBIN, A. **L'Opinion et la politique face aux nuisances industrielles dans la ville préhausmannienne**. In: Le Temps, le désir et l'horreur. Paris: Aubier, 1991, p.186.

CUNHA, U. V. L. **Terra-cimento: construção para o estudo da casa de baixo custo**. 1978. Dissertação de Mestrado - São Carlos, ESSC – USP, 1978.

DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Ciência Aplicada**. Blumenau, v. 2, n. 04, p. 01-13, 2008.

D'AGONTINO, L. Z.; SOARES, L. O uso de finos de pedra de rocha granítico-gnáissica em substituição às areias naturais na elaboração de argamassa. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 65-74, 2003. Disponível em: <[http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias/22\\_1/6.PDF](http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias/22_1/6.PDF)>. Acesso em: 12 dez. de 2016.

DIAS, M. R. A. C. **Percepção dos materiais pelos usuários**: modelo de avaliação permatus. 2009. 368 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

ECO PRODUÇÃO. **Manual Prático: Tijolo Ecológico Modular**. 2013. Disponível em: <<http://www.ecoproducao.com.br/downloads/cartilha-eco-producao.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p, 1999.

ESCOBAR, Arturo. **Autonomía y diseño: La realización de lo comunal**. Popayán: Universidad del Cauca. Sello, Editorial, 2016. 281p.

\_\_\_\_\_. **O lugar da natureza e a natureza do lugar**: globalização ou pós-desenvolvimento? In: LANDER, E. (Org.). A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Perspectivas latino-americanas. Buenos Aires: Colección Sur Sur, CLACSO, 2005. p. 133-168.

FADUL, Anne. **PIB do setor de construção civil**: Queda de 2,7% no 1º trimestre do ano. FIESP. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/noticias/pib-do-setor-de->

construcao-civil-caiu-27-no-1o-trimestre-do-ano-mostra-estudo-da-fiesp/>. Acesso em: 03 dez. 2016.

FARIAS, Jamerson Araújo; GUILHON, David; SANTOS, Denilson Moreira. AVALIAÇÃO DE COMPOSITO OBTIDO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PET. In: 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [= Blucher Design Proceedings, 2016, São Paulo, v. 9, n. 2. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2016, p. 4226-4240.

FARIAS, Jamerson Araújo; SANTOS, Denilson Moreira. **AVALIAÇÃO DE COMPOSITO OBTIDO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PET.** 2016. 120p. Dissertação – Mestrado em Design, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

FERRANTE, Maurizio; WALTER, Yuri. **A materialização da ideia:** noções de materiais para design de produto. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento.** 2004. 107p. Dissertação Mestrado. Ilha Solteira: UNESP, 2004.

FIGUEROLA, Valentina. **Alvenaria de solo-cimento.** Técnica, São Paulo: PINI, 2004, n.85, p.30-35. Disponível em <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>. Acesso em: 05 dez. 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002.

FRANKEL, L.; M. RACINE. The Complex Field of Research: for Design, through Design, and about Design. In: Proceedings of the DRS – Design e Complexity, 2010, Montreal - Canada. **Anais...** Montreal: Design Research Society, 2010, p. 1-12.

FREIRE, Wesley Jorge; BERALDO, Antônio Ludovico. **Tecnologias alternativas de construção.** Editora da Unicamp, Campinas, 2003.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2009.** Belo Horizonte, 2012.

\_\_\_\_\_. Centro de Estatística e Informação. **Déficit habitacional no Brasil 2008.** Brasília: MCidades, 2011

\_\_\_\_\_. Centro de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2011-2012.** Belo Horizonte: MCidades, 2015.

\_\_\_\_\_. Estatística & Informações - Demografia e Indicadores Sociais. **Déficit Habitacional no Brasil 2015.** Belo Horizonte: MCidades, 2018. Disponível

em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/direi-2018/estatistica-e-informacoes/797-6-serie-estatistica-e-informacoes-deficit-habitacional-no-brasil-2015/file>>. Acesso em: 18. jul. 2018.

GIDDENS, A. **As consequências da modernidade**. São Paulo: Unesp, 1991.

\_\_\_\_\_. **O mundo na era da globalização**. 6. ed. Lisboa, Portugal: Presença, 2006.

\_\_\_\_\_. **Mundo em descontrole**. 6. ed. Rio de Janeiro: Record, 2007.

\_\_\_\_\_. **O debate global sobre a terceira via**. Ed. São Paulo: Unesp, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

\_\_\_\_\_. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GÓIS, Luciano Costa de. **Estudo da incorporação da cal em composições binárias de solo-cimento para produção de tijolos maciços**. 2012. 119 p. Dissertação (Mestrado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GOMES, F. J. **Design do objeto: bases conceituais**. São Paulo: Escrituras, 2006.

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

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL – GBCB. Notícia: **Brasil mantém a 4ª posição no Ranking de Países com maior número de projetos LEED**. 2018. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=287>>. Acesso em: 20 de ago. 2018.

HANNIGAN, J. **Sociologia ambiental**. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

HIRATSUKA, Tei Peixoto. **Contribuições da ergonomia e do design na concepção de interfaces multimídia**. 1996. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

\_\_\_\_\_. **Mapa de Classificação dos solos – Maranhão e Ilha do Maranhão**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

\_\_\_\_\_. **Condição de ocupação do domicílio**. 2014. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=6&op=0&vcodigo=PD212&t=condicao-ocupacao-domicilio>>. Acesso em 20 mar 2016.

International Council of Societies of Industrial Design – ICSDI. 2012. **Definition of design**. Disponível em: <<http://bit.ly/9YDndi>>. Acesso em: 18 de jun. 2018.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estudo aponta redução do déficit habitacional no país**. 2013. Disponível em: <[http://agencia.ipea.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20656&catid=1&Itemid=7/](http://agencia.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=20656&catid=1&Itemid=7/)>. Acesso em 21 de mar. 2018.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 2005. 178p. Trabalho de conclusão (Mestrado Profissional). UFRGS, Porto Alegre - RS, 2005.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil** – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C. Variabilidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. **e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. Vol. 1, n.1, p. 22-32, maio 2004. Disponível em: <<http://www.emat.info/e-MAT-V1-N1/e-MAT-V1-N1-p22-32.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.

KAZAZIAN, T. **Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

KINDLEIN J. W.; BUSKO, A. M. P. D. Design e engenharia: como fortalecer a pesquisa e promover o diálogo destas áreas do conhecimento?. **Actas de Diseño: Facultad de Diseño y Comunicación**, Palermo, v. 1, p. 155-6, 2006.

LAKATOS, E. M. e MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 1995.

LATOUCHE, S. A **Ocidentalização do Mundo**: ensaio sobre a significação, o alcance e os limites da uniformização planetária. Rio de Janeiro: Vozes, 1996.

LEPRE, P. R; SANTOS, A. dos. Implicações da Sustentabilidade no Escopo de Atuação do Design. **Revista Estudos em Design**, Rio de Janeiro, vol. 16, PUC-Rio, p. 1-14, 2008. Acesso em: 18 ago. 2018.

LEWGOY, Alzira Maria Batista et al. **Marginalidade e controle social**. Porto Alegre: Secr. Justiça E.S.P., 1991.

LOFTHOUSE, V.A. Investigation into the Role of Core Industrial Designers in Ecodesign Projects. **Design Studies**, v. 25(2), p. 215-227, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2003.10.007>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 158p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas – SP, 2002. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257285>>. Acesso em: 3 ago. 2018.

MACEDO, L. A. A. **Contribuição para gestão dos resíduos da construção civil: uma abordagem no município de São Luís**. 64ª Reunião Anual da SBPC em São Luís – UFMA. Ano 2012. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/5746.htm>>. Acesso em 18 jun 2017.

MAGALHÃES, Luciana Nunes. Análise comparativa dos blocos de solo-cimento, de concreto e cerâmicos utilizados na construção civil do sudeste brasileiro. **Construindo**, Belo Horizonte, v.2, n.2, p.7-10, jul./dez 2010.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade**: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Cadernos do Grupo de Altos Estudos. Rio de Janeiro: E-papers, v.1, 2008.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MENDES, K. da S. **Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Aplicada a Mineração) - Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes a sua produção e utilização em estudo de caso**. 1990. São Paulo. Dissertação (Mestrado) – FAU USP, São Paulo, 1990.

MILANI, A.P.S; FREIRE, W.J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.1-10, jan./abr., 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.

MINKE, G. **Manual de Construcción en Tierra**. Montevideo: Fin de Siglo, 2005.

MONTIBELLER-FILHO, G. **O Mito do Desenvolvimento Sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. 1999. Tese (Doutorado). Programa Interdisciplinar de Doutorado em Ciências Humanas: Sociedade e Meio Ambiente, CFH-UFSC, Santa Catarina, Brasil, 1999.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xata**, Belo Horizonte, p.13-26, 2014.

MORAES, O. B.; SANTANA, M. J. A. **Tecnologia, Habitação e Desenvolvimento Sustentável**. In: III ENECS – ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTAVEIS. 2003. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/242244241\\_TECHNOLOGIA\\_HABITACAO\\_E\\_DESENVOLVIMENTO\\_SUSTENTAVEL](https://www.researchgate.net/publication/242244241_TECHNOLOGIA_HABITACAO_E_DESENVOLVIMENTO_SUSTENTAVEL)>. Acesso em: 18 jul. 2018.

NEVES, C. M. M. Tijolos de solo-cimento. In: DEZ ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA HABITAÇÃO. Brasília. **Anais...** MINTER/PNUD. 1989. p. 141-166.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB-UNESP / PROTERRA - Rede Ibero Americano Proterra, 2011. 79 p. il.

NEVES, C. M. M; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – práticas de campo. Selección de suelos y métodos de control en la construcción com tierra – prácticas de campo. In: IV SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, 4. e SEMINÁRIO ARQUITECTURA DE TERRA EM PORTUGAL, 3., 2005, Monsaraz (Portugal). **Anais...** Vila Nova de Cerveira (Portugal): Escola Superior Galaecia / Proterra-Cyted. 1 CD-ROM. p. 1-31, 2005.

NEVES, L. **Aplicação dos finos gerados pela produção de pedras britadas graníticas no concreto pré-misturado em substituição às areias naturais**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem.** 2002. 211p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, 2002.

PAIVA, P. A.; RIBEIRO, M. de S. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos.** FEA – RP / USP, 2011.

PAPANEK, V. **Arquitectura e Design: Ecologia e Ética.** Edições 70. Lisboa, Portugal, 1995.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DIAS, A. J. G.; CORTES, P. L. Aspectos normativos a respeito de resíduos de construção civil: uma pesquisa exploratória da situação no Brasil e em Portugal. **Desenvolvimento E Meio Ambiente - DeMA**, v. 29, p. 155–169, 2014.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DIAS, A. J. G.; CORTES, P. L.; DUARTE, E. B. L. Manejo de resíduos de demolição gerados durante obras da arena de futebol Palestra Itália (Allianz Parque) localizada na cidade de São Paulo / Brasil. **Holos**, v. 6, p. 73–91, 2013.

PATRICIO, S. M. R.; FIGUEIREDO, S. S.; BEZERRA, I. M. T., NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Blocos Solo-cal Utilizando Resíduo da Construção Civil. **Cerâmica**, v. 59(349), p. 27–33, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000100003>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

PAZMINO, A. V. Uma reflexão sobre Design Social, Eco Design e Design Sustentável. In: I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável, 2007, Curitiba. **Anais... UFPR**, 2007, p. 1–10.

PECORIELLO, L. A. **Recomendações práticas para uso do tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria.** 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado) - IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), São Paulo, 2003.

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

PINHEIRO, R. J. B; SOARES, J. M. D. Utilização de Solos Arenosos para Obtenção de Tijolos de Solo-Cimento. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 15 (5-6), Set/Dez, 2010. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, RS, 2010. Disponível em: < <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v15n5-6/v15n5-6a05.pdf>>. Acesso em: 18 mar 2018.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, J. et al. Construção em Tabique na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL DEFECTS AND REPAIR, 4., 2008, Aveiro. **Anais...** Aveiro: Civil Engineering Department, University of Aveiro, 2008.

PRADO, A. L. Desenvolvimento urbano sustentável: de paradigma a mito. **Oculum ens**. Campinas, v. 12, n. 01, 2015, p. 83-97.

REZENDE, M. C.; BOTELHO, E. C. O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 02, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v10n2/3106.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2018.

ROVER, S; INACIO, F. S. A Evidenciação da Gestão de Resíduos e Logística Reversa nas Empresas Listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial. In: Congresso de Contabilidade. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2015., **Anais...** p.1-19, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/163131>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Antônio; AMARAL, Daniel; TOLEDO, José; SILVA, Sergio; ALLIPRANDINI, Dário; SCALICE, Régia. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUEDGER, Felipe. **Guia ambiental para construção de residências sustentáveis**. Trabalho de Graduação (Curso de Engenharia Sanitária Ambiental) – UFSC, Florianópolis, 2010.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**. In: BURSZTYN, M. (Org.). Para pensar o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29-56.

SALAS, Julian. **Tecnologia habitacional, su transferencia y nuevas formas de cooperación para el desarrollo**. In: Ciudades para um futuro mas sostenible. Madrid, 1998. Disponível em: <<http://habitat.aq.upm.es/iah/ponenc/a009.html>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

SAHARA. **Fabricação dos Tijolos de solo-cimento**. 2001. Disponível em: <<http://www.blog.sahara.com.br/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

SANTOS, Pérsio de Souza. **Ciência e Tecnologia de Argilas – Volume 1**. 2ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1989-1992.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. **Revista Holos**, Paraíba, v. 5(8), p. 125–135, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/223611707238>>

SATTLER, M. A. **Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis**. Coleção Habitare, v. 8. 488 p. Porto Alegre, ANTAC, 2007. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/>. Acesso em: 03 dez. 2016.

SCHULMANN, Denis. **O Desenho Industrial**. Campinas: Papirus, 1994.

SEINC – MA. **Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Energia**. 2015. Disponível em: <<http://www.seinc.ma.gov.br/areas-de-atuacao/construcao-civil/>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

SEGANTINI, A. A. S., SOUZA, M. I. B, PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p. 205-212, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n02a14.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP**. 2000. 176 p. Tese (Doutorado), Campinas: UNICAMP, 2000.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais**. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2012.

SILVA, E. P. ; NASCIMENTO, J. W. B. ; BARBOSA, N. P. ; LEAL, A. F. Avaliação de painéis de tijolos prensados de solo-cimento incorporados com resíduos de calçados (EVA). **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. REMAP , v. 3, p. 44-49, 2008.

SILVA, S. R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 2005. 219 p. Dissertação (Mestrado apresentado ao curso de Engenharia das Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2005.

SILVA, B. A. da. **Environmental Complexity in the Socio-Environmental Rule-of-Law**. Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito PPGDir/UFRGS. Vol. x, n. 2, p. 101-131, 2005. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ppgdir/article/viewFile/54612/35405>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

SJOSTROM, C. Sustainable construction and performance based standards and codes. Sweden of the. In: Asia/pacific conference on harmonization of durability standards and performance tests for components in buildings and infrastructure, 1, 1999, Bangkok. **Anais...** Bangkok, 1999.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto: Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2001. 124p. Dissertação de Mestrado, UNB, DF, 2001.

SOUSA, Djalma M. G.; LOBATO, Edson. **Latossolos**. Agência de Informação EMBRAPA. 2005. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html)>. Acesso em: 21 mar. 2018.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 2006. 121 p. Dissertação (Mestrado), Ilha Solteira: UNESP, 2006.

STEPHANOU, J. **Gestão de Resíduos Sólidos: Um Modelo Integrado que Gera Benefícios Econômicos, sócias e ambientais**. Trabalho de Conclusão de curso de especialização. Escola de Administração - Curso de Especialização em Econegócios e Gestão Socioambiental, UFRGS, Porto Alegre, 2009 Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/sustentabilidade/?cat=15>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

TAMBORRINI, P. Design de inovação. Do design ao design de sistemas: objetos, relações e comportamento. In: CADERNOS DE ESTUDOS AVANÇADOS EM DESIGN: INOVAÇÃO. **Anais...** ORGANIZAÇÃO: Dijon De Moraes, Itirolida, Regina Álvares Dias – Barbacena: EdUEMG, 2012, p. 53-63. Disponível em: <[http://eduemg.uemg.br/images/livros-pdf/catalogo-2012/2012\\_CADERNOS\\_DE\\_ESTUDOS\\_AVANÇADOS\\_EM\\_DESIGN\\_-\\_INOVAÇÃO\\_BILINGUI\\_VOL\\_6.pdf](http://eduemg.uemg.br/images/livros-pdf/catalogo-2012/2012_CADERNOS_DE_ESTUDOS_AVANÇADOS_EM_DESIGN_-_INOVAÇÃO_BILINGUI_VOL_6.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2018

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira E. **Construir, morar, habitar: o solo-cimento no campo e na cidade**. São Paulo: Ícone, 1987. 120 p.: il.

THACKARA, J. **Plano B – O Design e as alternativas viáveis em um mundo complexo**. Editora Saraiva. São Paulo, 2008.

VEZZOLI, Carlo. **Design per la sostenibilità: una disciplina (sempre più) articolata**, in Vezzoli C., Tamborrini P. (a cura di), Design per la sostenibilità. Strumenti e strategie per la decade “Educazione per lo sviluppo sostenibile, Nazioni Unite (2005-2014)”, patrocinato da Nazioni Unite (DESD), Commissione Nazionale UNESCO e provincia di Milano, LlibreriaClup editore, ISBN 978-88-7090-949-4, Milano, 2007, pp. 31-45.

YOUNG, J. E. **Reduzindo o desperdício, economizando materiais**. São Paulo: Globo, 1991.

# **ANEXOS**

## **ANEXO A**

Sistema Construtivo do Tijolo de solo-cimento

## ANEXO A – Sistema Construtivo do Tijolo de solo-cimento

### Fonte:

Grupo Aguilar – SAHARA.

(Disponível em: <http://www.sahara.com.br/index.php>)

Fábrica Eco Produção – Tijolos ecológicos

(Disponível em: <http://www.ecoproducao.com.br/>)

Uma obra limpa, organizada e sem geração de muitos resíduos é um diferencial do sistema construtivo do tijolo de solo-cimento, ocasionando mínimos desperdícios no canteiro de obras.

No contexto da sustentabilidade no segmento da construção civil, a fabricação de tijolos modulares de solo-cimento incentiva uma discussão acerca dos processos produtivos com novos materiais de construção. Alguns detalhes distinguem o sistema de construção do tijolo modular de solo-cimento em relação aos sistemas construtivos de tijolos convencionais e, estes detalhes já fornecem algumas vantagens construtivas devido ao processo de modulação.

O tijolo modular é projetado para suportar esforços de compressão, tanto que em sua fabricação o bloco é compactado em seis toneladas de pressão, podendo alcançar a pressão de 12 toneladas. Conforme a Figura 01 abaixo:

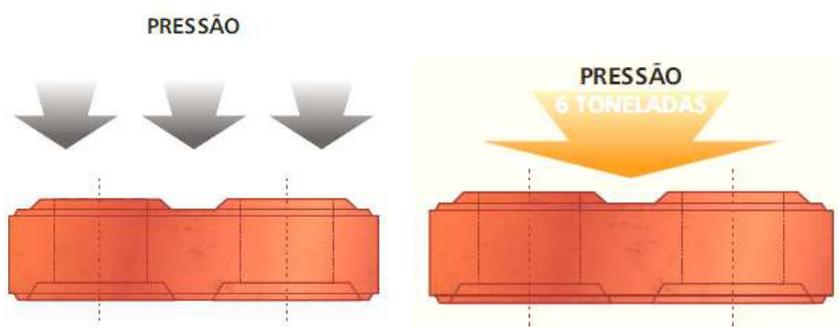


Figura 01: Esforço de compressão nos tijolos.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Os tijolos são assentados modularmente de forma que estejam interligados em múltiplos sentidos (Figura 02). Os pesos dos tijolos são, assim, descarregados

para as cintas de amarração e colunas de sustentação, sendo estas os pilares de tijolo solo-cimento com graute, distribuídos ao longo de todas as paredes homogeneamente.

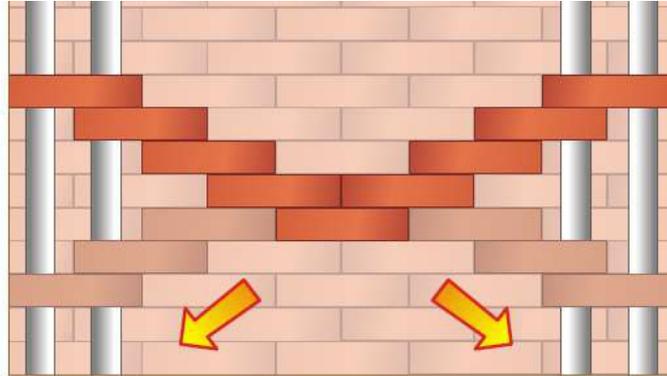


Figura 02: Interligação dos tijolos.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

O sistema de encaixe facilita o assentamento dos tijolos, auxiliando para que a parede fique no prumo, além de evitar o aparecimento de fissuras ou trincas devido as juntas regulares. A praticidade de encaixes entre blocos também reduz o tempo para execução da obra, gerando economia, principalmente com a mão de obra utilizada. O emprego dos tijolos de solo-cimento ocorre de forma simplificada (Figura 03):

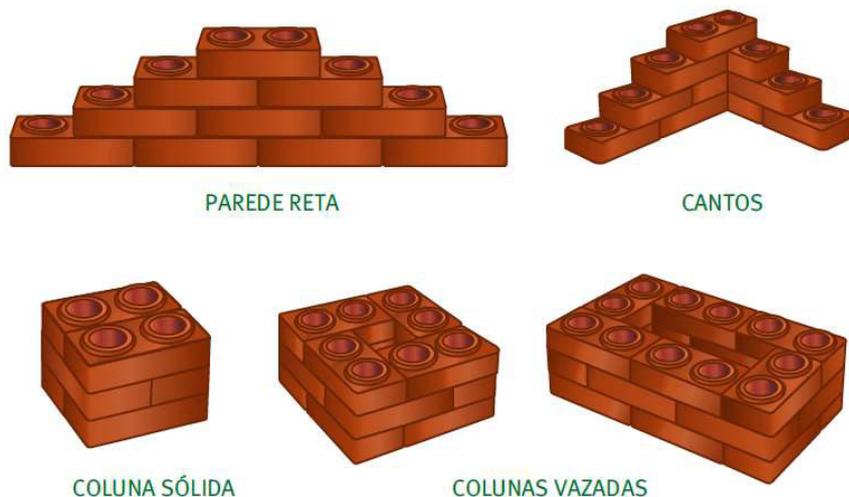


Figura 03: Modulação dos tijolos

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Quanto ao assentamento, destacam-se outras particularidades. Segundo SAHARA (2001), para executar o assentamento e rejunte de tais tijolos modulares utiliza-se um filete de cola branca, argamassa própria ou massa de solo-cimento, sendo esta última com as seguintes proporções: 1 litro de cimento; 1 litro de cola PVA e 12 litros de solo. Para aplicação da massa ou cola, basta uma bisnaga com bico dosador, o que facilita ainda mais o processo na construção (Figura 04). Porém, na primeira fiada ocorre exceção, visto que deve ser assentada com uma argamassa convencional de cimento e areia (traço 1:3) sobre o baldrame, promovendo a regularização da superfície.



Figura 04: Assentamento dos tijolos de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Os tijolos de solo-cimento possuem texturas e medidas regulares, proporcionando um bom acabamento estético e evitando o desperdício com massa para correções de imperfeições. Contudo, caso haja eventuais imperfeições nos tijolos, a massa de assentamento também serve para corrigir estas irregularidades. Da mesma forma, a quantidade de material para assentar e revestir tijolos ainda é considerada mínima, reduzindo o peso da construção total.

Durante o assentamento dos tijolos, é necessário atentar para a dilatação do material. Assim como toda matéria, o tijolo se expande e retrai de acordo com os efeitos do calor ou frio (Figura 05).



Figura 05: Dilatação dos tijolos de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Caso não haja espaço para a expansão e retração, os tijolos se chocarão entre si e causarão trincas e fissuras. Para evitar que estes danos construtivos ocorram, garantindo estabilidade à obra, é preciso preservar uma distância de um a dois milímetros (espessura de uma régua) entre um tijolo e outro (SAHARA, 2001). Estes pequenos vão permitem ainda uma melhor aderência no reboco ou rejunte sem comprometer aparência visual das paredes (Figura 06).

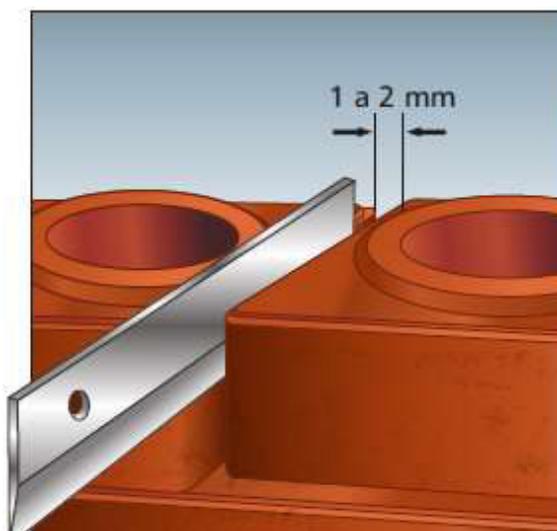


Figura 06: Espaçamento entre tijolos de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

O meio tijolo é outro artifício para encher uma parede, principalmente paredes perpendiculares, sendo este construído por máquinas ou adaptação por ferramentas (Figura 07).



Figura 07: Meio tijolo de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

O sistema construtivo modular oferece a vantagem de embutir as colunas estruturais na própria parede, sem a necessidade de caixas de madeira e grandes volumes de concreto. As barras de ferro (vergalhões com espessura de 8mm) da coluna estrutural devem estar firmemente fundidas no alicerce ou radier antes do levantamento das paredes (SAHARA, 2001). Segue Figura 08 abaixo:

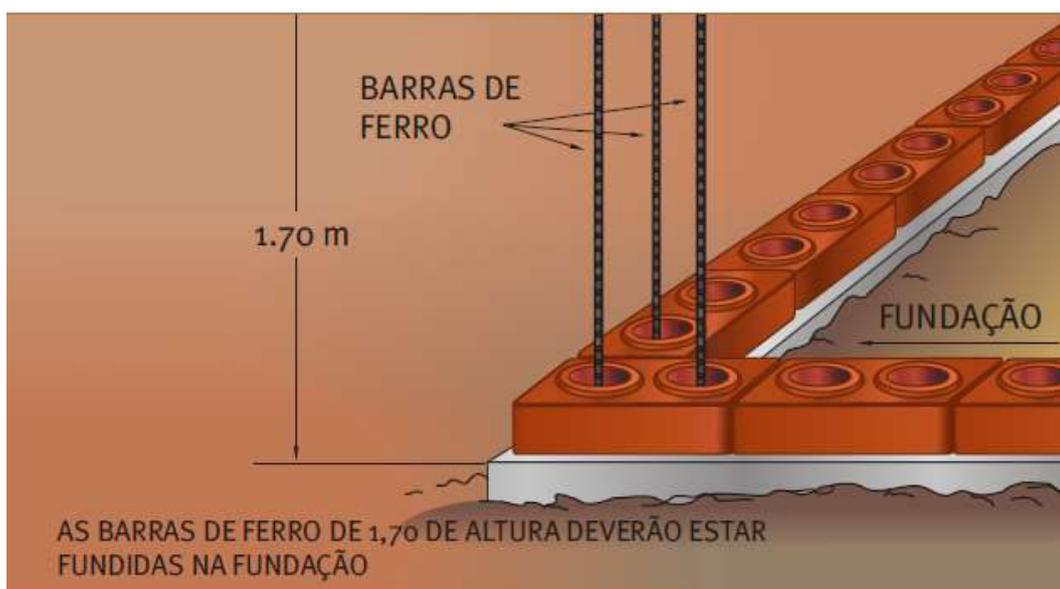


Figura 08: Estrutura em alvenaria de tijolos de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Para o reforço da estrutura e para melhor amarração das paredes, preenchem-se os furos com graute. A localização e quantidade das colunas estruturais devem ser previstas e calculadas em projeto por um engenheiro calculista. É importante enfatizar que cada projeto possui sua particularidade, portanto o seu sistema estrutural, tal como quantitativo e a espessura das ferragens, devem ser indicados pelo profissional responsável pela obra. Essa função estrutural, no entanto, é válida para construções abaixo de três pavimentos, acima disto são necessárias colunas de alvenaria tradicionais.

As colunas de sustentação são preenchidas a cada meio metro de altura. Já as paredes deverão ser amarradas com grampos, encaixados em pequenos sulcos cavados nos tijolos, ou diretamente através da simples amarração do tijolo. Para cortar os sulcos adequadamente, deve-se usar uma serra circular que evitará a danificação dos tijolos (Figura 09). Tal forma de procedimento deve ser repetida a cada meio metro

para a resistência e firmeza da construção, enchendo os furos reservados às colunas estruturais de concreto após cada amarração com grampos.

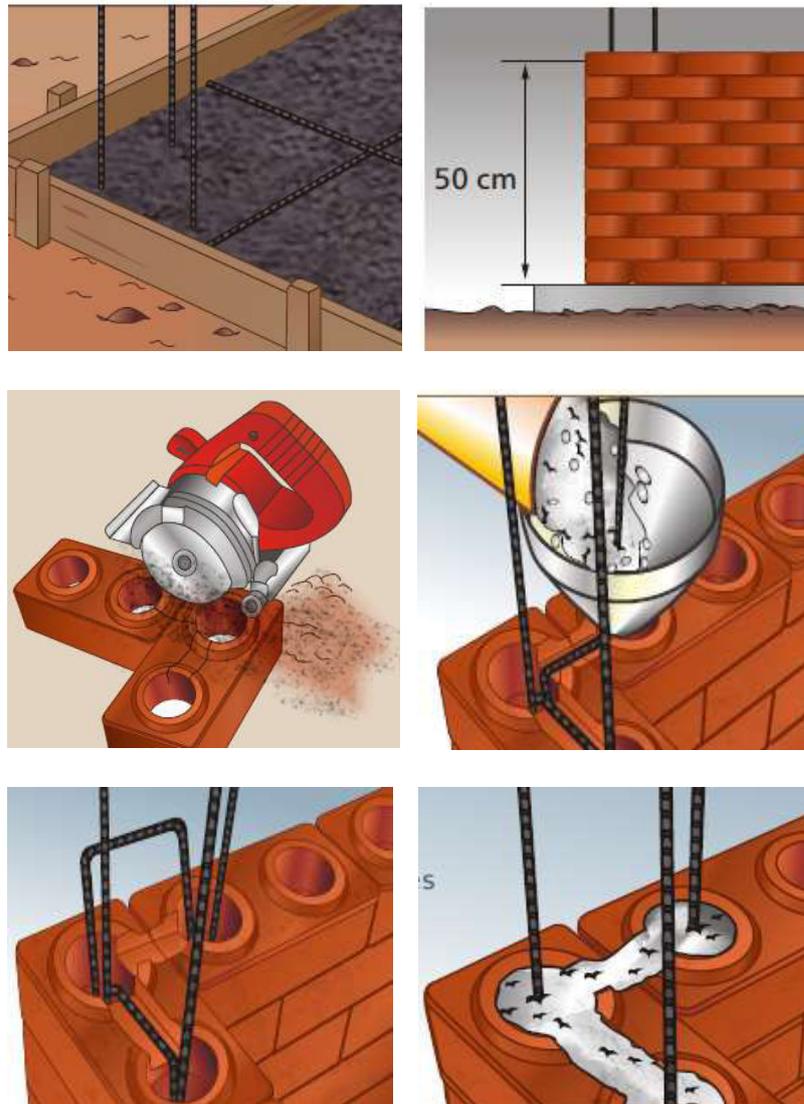


Figura 09: Sustentação, amarração e preenchimento das colunas.  
Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

O enchimento dos furos e amarração com grampos a cada meio metro impede que bolsas de ar sejam formadas ao longo do tubo interior dos blocos, o que pode comprometer toda a estrutura da coluna. É necessário também que ao longo desse processo, os tijolos sejam molhados para evitar o surgimento de trincas. Em paredes perpendiculares, é aconselhável que as amarrações sejam efetuadas das seguintes opções (Figura 10):

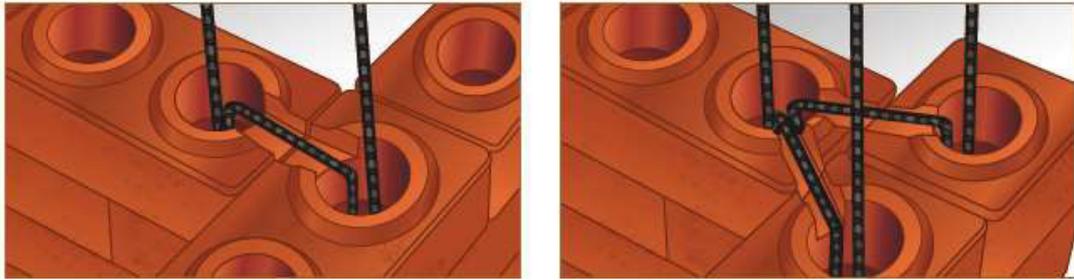


Figura 10: Opções de amarração (paredes perpendiculares).

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Com a altura do pé-direito alcançada, executa-se a cinta de amarração com tijolos de solo-cimento do tipo canaleta (Figura 11). Estes poderão ser moldados na forma própria para canaletas ou podem ser criados a partir de tijolos de solo-cimento de formatos e dimensões convencionais. Neste sistema construtivo modular, as cintas de amarração através dos tijolos de tipo canaleta também podem substituir as vergas e contra-vergas. Os preenchimentos de tais cintas são realizados com concreto e os furos deverão ser isolados com canos de PVC, copos ou tubos de papelão – sendo retirados após o término da concretagem -, impedindo o vazamento da massa para a área interna dos furos.



Figura 11: Cintas de amarração com tijolo canaleta.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Após finalização de paredes com canaletas, caso a obra seja apenas de um pavimento e com laje prevista, basta que as dobradiças ultrapassem mais 50cm da altura total e curvá-las para o interior da edificação na estrutura da pré-laje. Assim, a laje é coberta de concreto juntamente com as dobradiças inclinadas, proporcionando uma amarração eficiente das colunas à laje. Caso a obra tenha mais pavimentos, apenas uma das barras de cada coluna é inclinada para a laje e as outras seguem erguidas para as amarrações posteriores, formando novas colunas.

Os furos das alvenarias de tijolo de solo-cimento não são fechados ao final da construção, promovendo a respiração das paredes e mantendo-as secas, sem fungos e bactérias. Porém, caso as lajes fiquem expostas às intempéries, os canos prolongados à laje deverão ser devidamente tampados e furados lateralmente para saída da evaporação, ou tampados com plásticos se a ocasião de exposição for temporária.

É imprescindível que as colunas sejam locadas da forma correta, evitando futuros problemas estruturais, patologias na edificação e custos elevados na obra. Além da inserção de colunas em vãos com intervalos máximos de 1m de distância, as portas e janelas também precisam ser reforçadas estruturalmente. Segue abaixo na Figura 12 uma exemplificação de distribuição de colunas em uma edificação, ordenando-as simplificadamente (SAHARA, 2001):

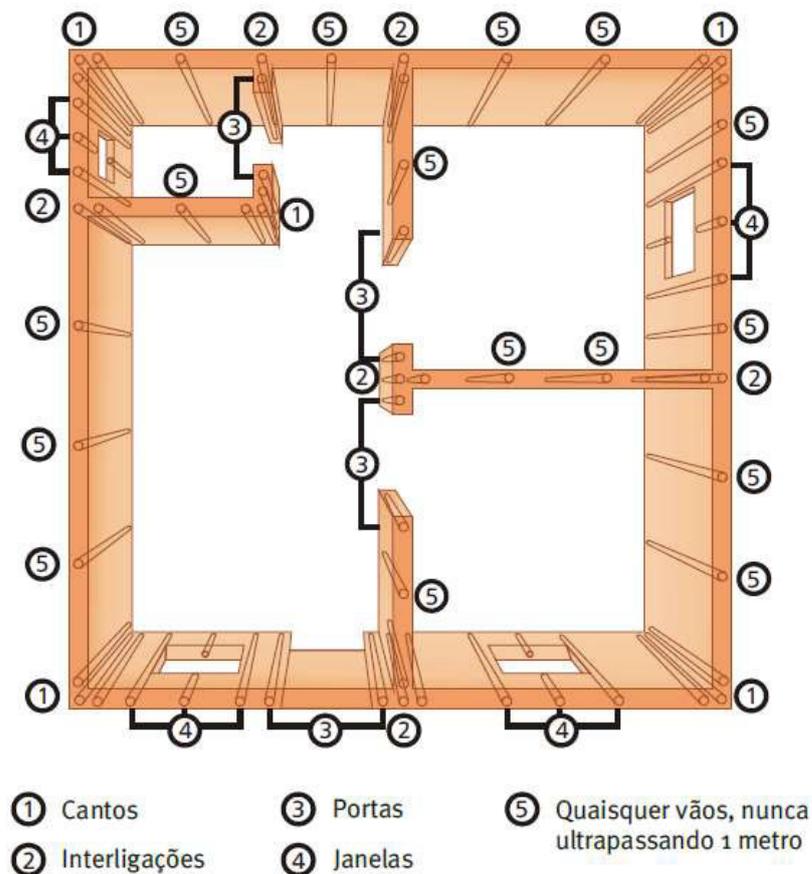


Figura 12: Distribuição de colunas na edificação.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

O esquema de locação de colunas acima citado é genérico e não deve ser realizado sem a consultoria de um engenheiro calculista para um adequado dimensionamento dos suportes estruturais e distribuição nas paredes.

Com a locação adequada dos pontos de sustentação, o sistema construtivo modular permite a distribuição eficaz e ordenada de colunas estruturais ao longo da edificação, concentrando o peso em vários pontos ao longo da construção (Figura 13).

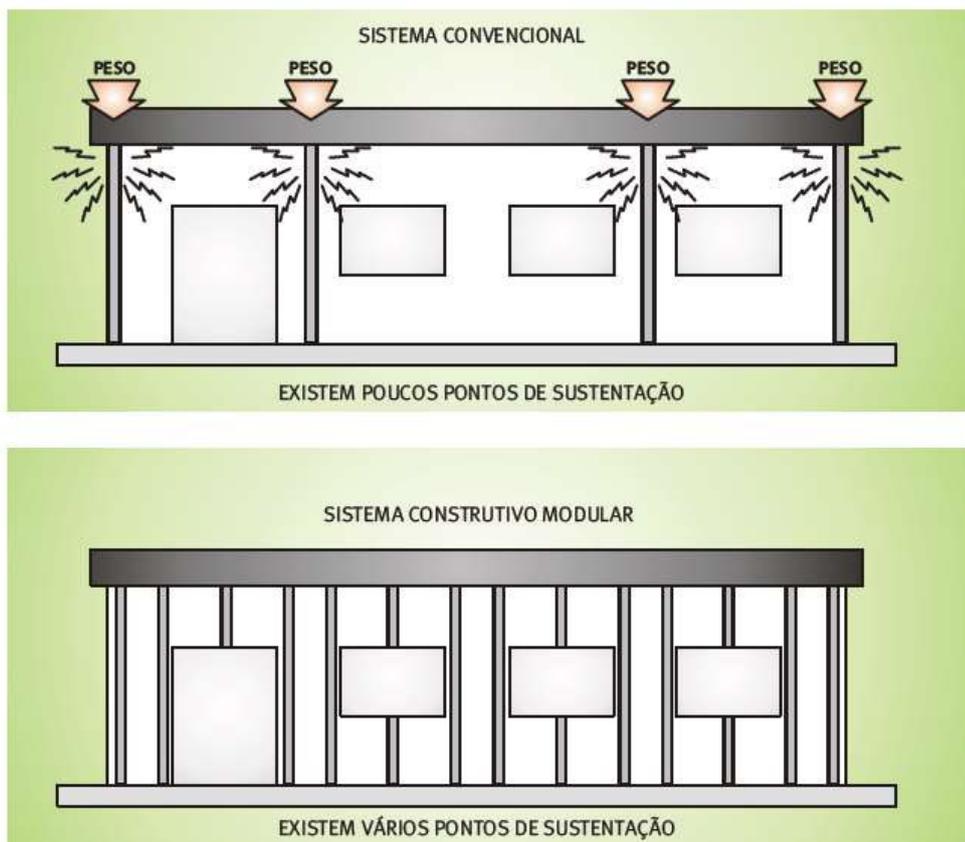


Figura 13: Sistema construtivo modular na edificação.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Na etapa das instalações nas edificações, os furos dos tijolos de solo-cimento funcionam como condutores de passagem da rede hidráulica e elétrica. A existência desses furos, além de promover conforto termo acústico, evita a quebra de paredes, mantendo o canteiro de obras mais limpo e organizado. Para implantação da rede elétrica, pode-se optar apenas pelo uso dos furos nos módulos em vez de conduítes e caixa para tomadas e interruptores. Conforme a Figura 14 a seguir:



Figura 14: Instalações elétricas em tijolos de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

No entanto, a pesquisa defende a utilização de conduítes para maior segurança da edificação pelos furos dos tijolos modulares. Na rede hidráulica, funciona da mesma forma, ocorrendo a instalação dos elementos sem a quebra exacerbada da alvenaria (Figura 15).

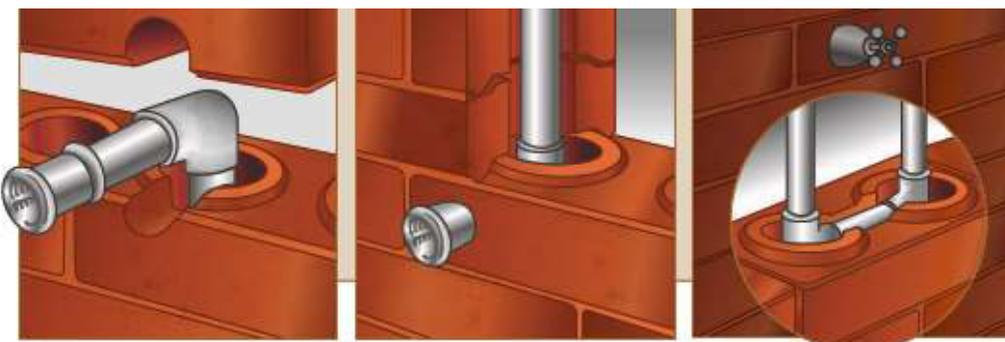


Figura 15: Instalações hidráulicas em tijolos de solo-cimento.

Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Quanto aos acabamentos, sobretudo revestimentos dos tijolos modulares, percebe-se uma dispensa por coberturas de massas quando expostos devido à ausência de irregularidades, sendo suficiente um rejuntamento entre os tijolos e uma camada de resina acrílica ou tinta nas superfícies. Porém, isto não impede o

acabamento final das paredes por revestimentos cerâmicos ou pinturas. De qualquer forma, a diferença entre o acabamento da alvenaria com tijolo convencional e tijolo de solo-cimento é visível, visto que os blocos proporcionam superfícies paralelas e regulares. Assim, a camada de massa para revestimento é fina, enquanto a camada para tijolos convencionais deve ser espessa para corrigir os defeitos (Figura 16).

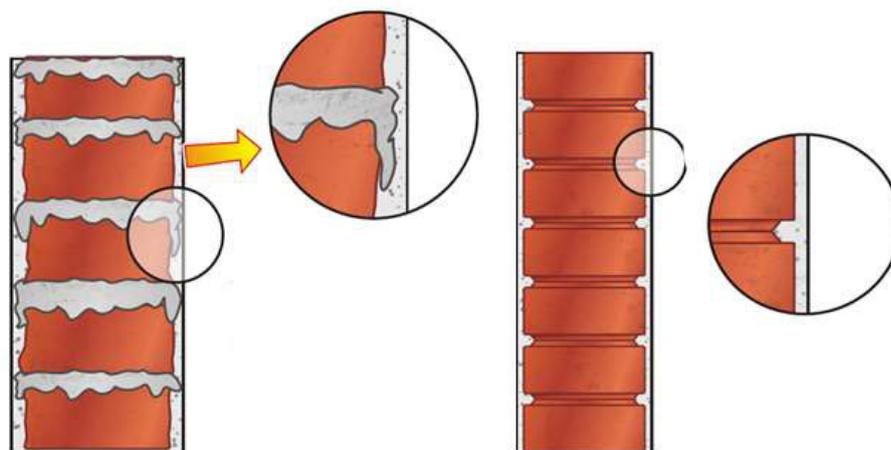


Figura 16: Acabamentos de paredes: Tijolo cerâmico x tijolo solo-cimento.  
Fonte: Manual prático de tijolos ecológico (Eco Produção – Tijolos ecológicos, 2013).

Desse modo, percebe-se muitas vantagens através do sistema construtivo quando o tijolo de solo-cimento é selecionado como substituição aos tijolos convencionais encontrados no mercado.

## **ANEXO B**

Mapas dos solos da Ilha de São Luís

