



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA – UNIPAMPA
CENTRO DE TECNOLOGIA DE ALEGRETE – CTA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELIANA REIS ANGST

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TIJOLOS CERÂMICOS E
TIJOLOS DE SOLO - CIMENTO**

Alegrete/RS
2013

ELIANA REIS ANGST

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TIJOLOS CERÂMICOS E TIJOLOS DE
SOLO - CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para a
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Dr. Eng. Ederli
Marangon

Co-orientador: Eng. Marcelo Dias de
Oliveira

**Alegrete/RS
2013**

ELIANA REIS ANGST

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TIJOLOS CERÂMICOS E TIJOLOS DE SOLO - CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em : 24/09/2013.
Banca examinadora:

Prof. Dr. Eng. Ederli Marangon
Orientador
Unipampa

Eng. Marcelo Dias de Oliveira
Co-orientador
Unipampa

Prof. Magnos Baroni
Unipampa

Eng. Fabiano Zanini

Dedico esse trabalho a todos que direta ou indiretamente tornaram o mesmo possível.

AGRADECIMENTO

Aos meus orientadores, Ederli Marangon e Marcelo Dias de Oliveira, e ao professor Fladimir Fernandes dos Santos, pela grande ajuda nas correções do trabalho e nas horas de dúvidas ocorridas no trajeto deste TCC.

Às colegas do curso Silmara Oleques e Priscilla Fontoura, que auxiliaram no armazenamento e transporte dos tijolos. E também aos colegas Gabriel Mendes, Letícia Oliveira e Everton Soares, que ajudaram nos rompimentos dos prismas no laboratório da Engenharia Civil.

Mas agradeço infinitamente à minha família. À minha avó Hedy e ao meu pai, Derlí, que ajudaram nas visitas às fábricas, bem como o transporte dos tijolos, do Noroeste ao pampa gaúcho. Também à minha mãe, que me aguentou em todos os momentos de choro nas ligações telefônicas durante o curso. Tenho eterna gratidão aos meus pais por todo o apoio, suporte e carinho recebido, mesmo não estando por perto.

É graça divina começar bem. Graça maior persistir na caminhada certa. Mas graça das graças é não desistir nunca.

Dom Hélder Câmara

RESUMO

Com as evoluções dos processos construtivos e o surgimento de novos materiais, considera-se indispensável a necessidade de se preservar o meio ambiente, já que, a cada dia, ocorre um aumento na escassez dos recursos naturais. Novas ideias e processos, visando a sustentabilidade estão surgindo, de modo a diminuir os impactos ambientais. Infelizmente, o setor de construção civil vem se caracterizando como um dos principais poluidores e causadores desses impactos. Há assim necessidade concreta de que atitudes sejam tomadas, sendo feita deste modo a escolha correta e consciente dos materiais de construção. Para tanto, é necessário identificar, entre tantos materiais disponíveis, aqueles que causam menores impactos ao meio ambiente, por meio de sua produção, utilização e disposição final. Feitas estas considerações, pode ser destacado o fato de que o solo é um material apropriado para as mais diversas aplicações construtivas, devido à sua abundância, facilidade de manuseio e obtenção e baixo custo. Como resultado o tijolo cerâmico é um dos produtos mais consumidos no mercado nacional. O mesmo é resultado do processo de queima do solo argiloso, modificado, primeiramente, em moldes, proporcionando assim diferentes formatos. Entretanto, juntamente com as novas ideias que visam a sustentabilidade, vêm chegando no mercado da construção civil os tijolos de solo-cimento, que não necessitam do processo de queima e assim não provocam desmatamento e emissões de CO₂. Mas, com tudo, nota-se o pequeno número de publicações comparativas entre os dois tipos de tijolos. Assim, esse trabalho tem como objetivo comparar os tijolos cerâmicos e os de solo-cimento, ambos maciços, analisando os mesmos sob ponto de vista ambiental e também material. Para essa finalidade, foram primeiramente realizadas visitas à uma olaria e à uma fábrica de tijolos de solo-cimento e em sequência foram executados ensaios tais como: medições dos tijolos, ensaios de resistência à compressão e índice de absorção dos tijolos. Com a análise dos resultados, pode-se gerar um comparativo entre os processos de fabricação, concluindo-se e demonstrando-se que os tijolos de solo-cimento são mais ecológicos. Porém constatou-se que os mesmos tem um maior custo que os de tijolos cerâmicos. Sob ponto de vista construtivo, os dois tipos de tijolos obtiveram boa resistência e boa absorção. Concluiu-se que a escolha do

tijolo acaba sendo realmente baseada na disponibilidade do produto e custo, e muitas vezes não na finalidade.

Palavras-chave: tijolos cerâmicos; tijolos de solo-cimento; processo construtivo; resistência à compressão; absorção da água.

ABSTRACT

With the developments of constructive processes and the emergence of new materials, it is considered essential to the need to preserve the environment, already that, every day, there is an increase in the shortage of natural resources. New ideas and processes, aiming at sustainability are emerging , so reducing the environmental impacts . Unfortunately, the construction industry has been characterized as one of the main polluters and causing those impacts. There is thus a need for concrete that attitudes are taken, being made in this way the correct choice and conscious of the materials of construction. For both, it is necessary to identify, among the many materials available, those that cause minor impacts to the environment, by means of its production, use and final disposal. Having Made these observations, it can be highlighted the fact that the soil is a suitable material for the most diverse applications constructive, due to its abundance, ease of handling and obtaining and in addition to the low cost. As a result the ceramic brick is one of the most widely used products in the domestic market. The same is the result of the firing process of the clayey soil, modified, first, in molds, thus providing various forms. However, along with the new ideas that aimed at sustainability, is coming on the market of civil construction the bricks of soil-cement, which do not require the burning process and thus do not cause deforestation and CO₂ emissions. But, with everything, note the small number of publications comparative between the two types of bricks. Thus, this study aimed to compare the ceramic bricks and the soil-cement, both massive, analyzing the same under environmental point of view and also constructive. For this purpose, were first carried out visits to a local pottery and a brick factory soil-cement and in sequence were performed tests such as: measurements of bricks, tests for resistance to compression and absorption index of bricks. With the analysis of the results, you can generate a comparison of manufacturing processes, concluding and demonstrating that the ground-cement bricks are more environmentally friendly. But i noticed that they are a little more expensive than the bricks of the pottery. Under constructive point of

view, the two types of bricks obtained good resistance and good absorption. The choice of brick ends up being really based on product availability and cost, and often not on purpose.

Keywords: ceramic bricks; soil-cement bricks; constructive process; resistance to compression; water absorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Coliseu em Roma	22
Figura 2 - Diagrama da construção sustentável	26
Figura 3 - Localização da produção brasileira de segmentos cerâmicos tradicionais	29
Figura 4 - Diagrama esquemático do processo de fabricação de elementos/objetos/produtos de cerâmica vermelha	34
Figura 5 – Forno paulista	38
Figura 6 – Forno abóboda	39
Figura 7 – Forno comum	39
Figura 8 – Forno tipo Hoffmann	40
Figura 9 – Forno tipo túnel	41
Figura 10 - Colocação para o solo no teste de caixa	46
Figura 11 - Verificação da retração do solo	47
Figura 12- Recomendação de Traço 1: 12 (cimento: solo)	51
Figura 13 - Verificação da umidade da mistura	52
Figura 14 - Verificação da umidade da mistura	53
Figura 15 – Visita à olaria e à fabrica de tijolos de solo-cimento.....	55
Figura 16 – Determinação das dimensões reais: a) largura; b) altura; c) comprimento.....	56
Figura 17 – Corte dos tijolos	58
Figura 18 – Montagem dos prismas (corpo de provas)	59
Figura 19 – Imersão dos corpos de prova	60
Figura 20 – Ensaio de resistência à compressão: tijolos cerâmicos (“a” e “b”); tijolos de solo-cimento (“c” e “d”)	61
Figura 21 – Ensaio de absorção	62
Figura 22 – Preparação da mistura para tijolos cerâmicos	63
Figura 23 – Elementos de mistura dos tijolos de solo-cimento	64
Figura 24 – Esquema do processo de moldagem dos tijolos cerâmicos	65
Figura 25 – Corredor de secagem da olaria.....	66

Figura 26 – Esquema de processo de moldagem dos tijolos de solo-cimento	67
Figura 27 – Processo de queima dos tijolos cerâmicos	68
Figura 28 – Processo de secagem dos tijolos de solo-cimento.....	69
Figura 29 – Dimensões dos tijolos (cm)	71
Figura 30 – Churrasqueira e bancada construída com tijolos de solo-cimento aparentes	72
Figura 31 – Coração negro	77
Figura 32 – Mesa mais baixa que a maromba	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Segmentos cerâmicos nacionais e suas respectivas produções	30
Tabela 2 – Dimensões nominais dos tijolos cerâmicos (mm)	56
Tabela 3 – Dimensões nominais dos tijolos de solo-cimento (mm)	57
Tabela 4 – Dimensões dos tijolos cerâmicos (cm)	70
Tabela 5 – Dimensões dos tijolos de solo-cimento (cm)	71
Tabela 6 – Comparativo entre tijolos	72
Tabela 7 – Produção mensal de tijolos	73
Tabela 8 - Valores individuais de resistência à compressão dos tijolos.....	74
Tabela 9 – Resistência à compressão em relação à categoria	74
Tabela 10 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão	75
Tabela 11 – Valores de massas dos tijolos	79
Tabela 12 – Resultado do ensaio de absorção de água dos tijolos	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Algumas matérias-primas da construção e a avaliação de sua abundância	23
Quadro 2- Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo geral.....	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	20
1.2 Justificativa	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Materiais construtivos ao longo da história	21
2.1.1 Produção de materiais de construção civil e seus impactos ambientais	22
2.2 Sustentabilidade	23
2.2.1 A sustentabilidade e a construção civil.....	25
2.3 O uso da cerâmica na construção civil	27
2.3.1 Argila para cerâmicas vermelhas.....	30
2.3.1.1 Propriedades das argilas	31
2.3.1.2 Fatores de desagregação dos produtos cerâmicos	33
2.3.2 Fabricação de produtos cerâmicos	33
2.3.2.1 Preparação da massa	34
2.3.2.2 Conformação da argila	35
2.3.2.3 Secagem	36
2.3.2.4 Queima e resfriamento	36
2.3.3 Tipos de fornos	37
2.3.4 Tijolos cerâmicos	41
2.3.4.1 Tijolos comuns maciços	41

2.4 O uso do solo-cimento	42
2.4.1 Conceitos e aplicações do solo-cimento	43
2.4.2 Materiais constituintes do solo-cimento	44
2.4.2.1 Solo	45
2.4.2.2 Cimento	47
2.4.2.3 Água	48
2.4.3 Tijolos de solo-cimento	48
2.4.4 Processo manual de fabricação do tijolo de solo-cimento	50
2.4.4.1 Mistura manual do solo-cimento	50
2.4.4.2 Processo prático da verificação da umidade	52
2.4.4.3 Produção manual dos tijolos de solo-cimento	53
2.5 Considerações finais	54
3 METODOLOGIA	55
3.1 Procedimentos metodológicos	55
3.1.1 Visitas.....	55
3.1.2 Verificação das dimensões dos tijolos e custos.....	56
3.1.3 Determinação da resistência à compressão e da absorção da água	57
3.1.3.1 Resistência à compressão	58
3.1.3.2 Ensaio de absorção de água	62
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
4.1 Comparação entre os processos de fabricação.....	63
4.1.1 Preparação da mistura.....	63
4.1.2 Moldagem.....	64
4.1.3 Queima e secagem.....	67

4.2 Análise das dimensões dos tijolos e custos	70
4.3 Determinação da resistência à compressão	73
4.4 Determinação da absorção da água	78
5 CONCLUSÃO	81
6 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1 INTRODUÇÃO

É fato que os materiais construtivos tiveram tanta importância ao longo da História, que a mesma, em seus primórdios, foi dividida conforme a utilização de um ou outro material. Tem-se assim, como exemplo, a Idade da Pedra ou do Bronze (BAUER, 2005). Porém, contemporaneamente, com as evoluções dos processos construtivos e o surgimento de novos materiais incorporados nas construções, torna-se indispensável a necessidade de se preservar o meio ambiente, para as gerações futuras, já que, a cada dia, ocorre um aumento na escassez dos recursos naturais. Novas ideias e processos, visando a sustentabilidade, estão surgindo de modo a gerar menos impactos ambientais.

Nessa linha de pensamento, Cordeiro (2006) destaca que é preciso pensar globalmente, agindo localmente, para o benefício global de todos. Ademais, o autor entende que é necessário ter a visão do mundo como um todo integrado, e não como um aglomerado de partes dissociadas, denominada visão ecológica. Entretanto, a satisfação das necessidades humanas, associada a um consumo excessivo de recursos e um rápido crescimento demográfico, têm exercido uma crescente pressão sobre o meio ambiente, que ocorre diretamente pela exploração dos recursos naturais ou, indiretamente, na produção de quantidades excessivas de detritos, em relação à capacidade de absorção e de limpeza do meio ambiente.

Conforme Druszcz (2002), o setor de construção civil vem se caracterizando como um dos principais poluidores e, conseqüentemente, causador de impactos ambientais. O volume de recursos utilizados, para que se produzam elementos construtivos, os gastos energéticos e a quantidade de resíduos resultantes desse processo estão, a certo tempo, comprometendo a qualidade do meio ambiente. Há necessidade concreta de que atitudes sejam tomadas com o objetivo de diminuir esse impacto e minimizar esse problema, sendo um dos principais meios para esse fim, a escolha correta e consciente dos materiais de construção. Para tanto, é necessário identificar, entre tantos materiais disponíveis, aqueles que causam menores impactos ao meio ambiente, por meio de sua produção, utilização e disposição final.

Feitas estas considerações, pode ser destacado o fato de que o solo é um material apropriado para as mais diversas aplicações construtivas, devido à sua abundância, facilidade de manuseio, obtenção e baixo custo. A prova da eficiência do mesmo é que existem construções feitas com materiais derivados de solo que datam de vários séculos e que vêm resistindo às intempéries e preservando a estabilidade estrutural. O uso da alvenaria como

sistema construtivo tem forte expressividade cultural, sendo que o tijolo pode ser considerado o componente pré-moldado mais antigo e também o mais utilizado pelo homem na construção civil (GRANDE, 2003).

Conforme Baccelli Júnior (2010), o tijolo cerâmico é um dos produtos mais consumidos no mercado nacional. O mesmo é resultado do processo de queima do solo argiloso, modificado, primeiramente, em moldes, e assumindo assim diversas formas (GRIGOLETTI, 2001; DRUSZCZ, 2002; MARTINS, 2004; BAUER, 2005b; ISAIA, 2007a; PETRUCCI, 2007; SILVA, 2009; BACCELLI JÚNIOR, 2010). Entretanto, com as novas ideias que visam a sustentabilidade, vêm chegando no mercado da construção civil os tijolos de solo-cimento, também chamados de “tijolos ecológicos”, isso devido ao fato de não passarem pelo processo de queima (ISAIA, 2007b; SOMA, 2012).

Mesmo com o surgimento de novos materiais, aliados as ideias de sustentabilidade, ainda contemplam-se poucas publicações onde são comparados os prós e os contras entre os tijolos cerâmicos e os tijolos de solo-cimento. Alguns estudos têm focado no processo de fabricação de tijolos cerâmicos ou em comparativos entre olarias, tais como os realizados por Druszcz (2002), Bauer (2005b), Petricci (2007) e Baccelli Júnior (2010). Em contrapartida outros estudos estão sendo focados na fabricação de tijolos de solo-cimento com adições de diversos elementos, como cinza de casca de arroz ou resíduos de construção civil (FREIRE, 2003; MILANI, 2005; ANTUNES, 2008; SOMA, 2010). Assim, não se sabe, até que ponto, o tijolo cerâmico é melhor que o ecológico, e vice-versa.

Nessa direção, com base no que foi apresentado, consolida-se o seguinte problema de pesquisa: qual é o melhor tipo de tijolo, sob ponto de vista construtivo e ambiental, a ser utilizado na construção civil? Tijolo que tenha como base de sua produção o solo?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma análise comparativa entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento, sob ponto de vista ambiental e material.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter um comparativo dos processos de fabricação de tijolos cerâmicos e de solo-cimento, analisando principalmente as duas produções sob ponto de vista ambiental;
- Realizar um comparativo de dimensões e de custo do m², entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento;
- Avaliar a resistência à compressão e a porcentagem de absorção dos tijolos cerâmicos e de solo-cimento.

1.2 Justificativa

O mercado da construção civil está e sempre esteve sujeito à mudanças. Com base nisso nascem novas ideias, fruto de grandes pesquisas, e como resultado tem-se o surgimento de novos produtos no mercado. Como exemplo de estudo, pode-se citar a autora Milani (2005), que em sua obra realizou uma avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz. Esse estudo envolve certo pensamento com gama ambiental, por estar tentando utilizar os resíduos do arroz como parcela da mistura em tijolos. Porém, em contrapartida, também envolve uma ideia de base construtiva, ao testar a resistência dos tijolos com a nova adição. Vários estudos da atualidade estão nessa mesma linha de pensamento, tentando conciliar o antigo com o novo, o indispensável para a sustentabilidade.

Teodoro (2011) complementa ao dizer que quem pensa que o objetivo da sustentabilidade é fazer com que a natureza permaneça intocável, está enganado, já que essa é uma visão incoerente para o presente momento. O que se procura é minimizar os efeitos da construção no ambiente, sem prejudicar a natural evolução tecnológica. É convencer a humanidade de que é possível usufruir de ambos, garantindo melhores condições ambientais e em contrapartida melhor qualidade de vida para as pessoas.

Entretanto, com todas as novas ideias e todos os novos produtos que invadem o mercado da construção civil, uma pergunta básica foi deixada sem resposta: entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento, qual dos dois é o melhor? Essa simples pergunta desencadeou a necessidade dos estudos comparativos, tanto no processo de fabricação (dando assim um olhar sob ponto de vista ambiental), quanto no comparativo de custos, de resistência à compressão e do índice de absorção dos tijolos. Propõe-se assim demonstrar até que ponto o tijolo cerâmico pode ser considerado melhor que o tijolo de solo-cimento, ou vice-versa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

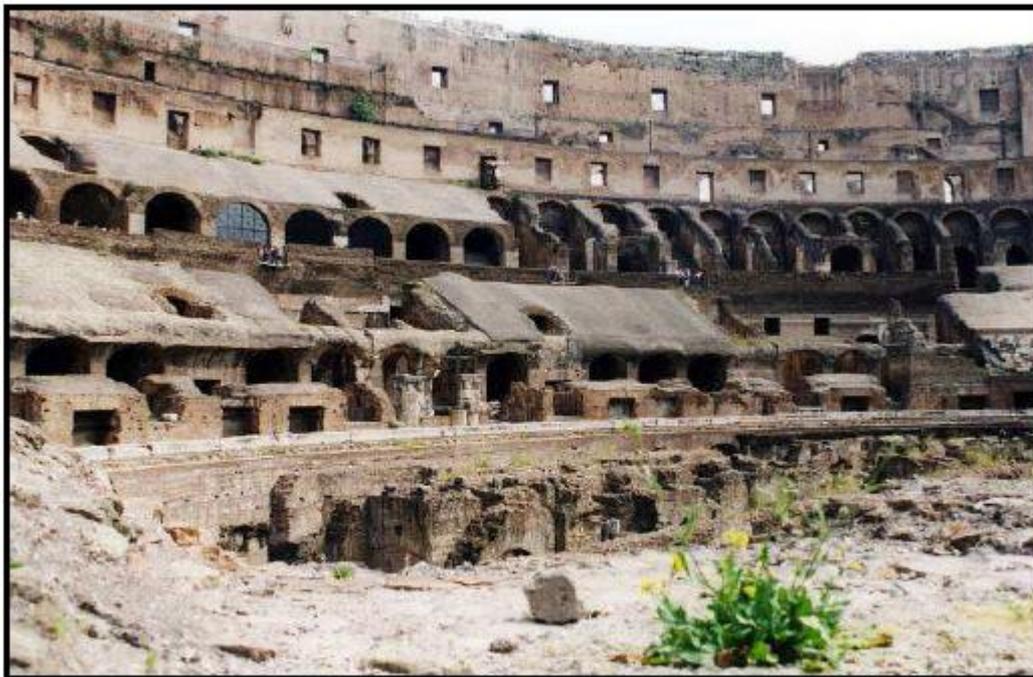
2.1 Materiais construtivos ao longo da história

Segundo Bauer (2005a), a importância dos materiais construtivos é tão grande, que a História em seus primórdios, foi dividida conforme a predominância do emprego de um ou outro material. Cita-se como exemplo a Idade da Pedra ou do Bronze, na qual os materiais empregados pelas civilizações primitivas eram usados do mesmo modo que encontrados na Natureza, ou seja, não eram trabalhados. Mas não demorou muito e a Humanidade passou a modelá-los e adaptá-los às suas necessidades.

Afonso e Andrade (2009) observam que cada civilização antiga teve a sua predominância construtiva em um dado material. Por exemplo, a arquitetura da Mesopotâmia (4.000 a. C. a 300 a.C.) empregou em seus estágios iniciais tijolos de barro seco ao sol, maleáveis, porém, pouco resistentes. Só mais tarde passou a ser cozido. A ideia de construir com tijolos chegou ao Egito (4.000 a.C. a 30 a.C.) por volta de 3.100 a.C., vinda da Mesopotâmia, onde nos próximos 500 anos foi generalizado o uso dos tijolos não cozidos. Muitos faraós construíam suas pirâmides em pedra, porém, seus palácios eram de tijolos.

Na Grécia Antiga (600 a. C. a 400 a. C.) predominou-se o uso de blocos de pedra, talhados com muita precisão, encaixados sem argamassa. Nas coberturas eram usadas telhas de barro sobre estruturas de madeira. Por fim, pode-se dizer que as grandes inovações tecnológicas ocorreram em Roma, no século II a. C., onde já eram conhecidos os materiais tradicionais (pedra, madeira, barro e metais) e onde se introduziram técnicas inovadoras na construção das paredes. Nessa época ocorreu a melhoria na qualidade dos tijolos, sendo assim o material mais usado em Roma entre os impérios de Nero e Constantino, onde a técnica de alvenaria de pedra, em junta seca, também foi melhorada, como pode ser visualizado na Figura 1 (AFONSO; ANDRADE, 2009).

Figura 1- Coliseu em Roma



Fonte: Afonso e Andrade (2009, não paginado)

Diante do exposto, percebe-se que era formado um ciclo, onde: melhores materiais possibilitavam melhores resultados e melhores técnicas, e estas últimas, por sua vez, demandavam materiais ainda melhores. Já, contemporaneamente, o engenheiro precisa estar atualizado para poder aproveitar as técnicas mais avançadas, utilizando materiais de melhor padrão e menor custo, estando, assim sempre atendo às inovações (BAUER, 2005a).

2.1.1 Produção de materiais de construção civil e seus impactos ambientais

Conforme Grigoletti (2001) e Druszcz (2002), como qualquer atividade industrial, a produção de materiais de construção civil causa problemas que alteram as características naturais do meio ambiente, sendo responsável por grande parte dos impactos sobre o mesmo. Traz, assim, como consequências, riscos à saúde, segurança e bem-estar da população, alterações nas atividades sociais e econômicas, afetando as características naturais, estéticas e sanitárias dos recursos naturais (água, solo, ar e vegetação). Ademais, é importante destacar que a indústria da construção é grande consumidora de recursos naturais e energia e libera grande quantidade de resíduos sólidos e líquidos, que vão se dispondo diretamente no ar, água ou solo, causando grandes impactos ao meio ambiente, tendo a chuva ácida e o aquecimento

global como exemplos. O Quadro 1 mostra alguns materiais mais usados na construção civil e seus respectivos consumos anuais e anos de disponibilidade na natureza.

Quadro 1 – Algumas matérias-primas da construção e a avaliação de sua abundância

Matéria-prima	Composição básica	Disponibilidade (em anos)*	Avaliação
Aço	Minério de ferro/carbono	231	Não abundante
Alumínio	Bauxita	225	Não abundante
Areia	Sílica		Abundante
Argila	Sílica/alumina/óxidos de ferro/outros		Abundante
Brita	Aluminossilicatos/silicatos de ferro e magnésio/outros		Abundante
Cal	Calcário		Abundante
Cimento	Calcário/argila/gipsita		Abundante
Cobre	Cobre	62	Em processo de esgotamento
Estanho	Estanho	56	Em processo de esgotamento
Ferro	Ferro	231	Não abundante
Policloreto de vinila (PVC)	Petróleo/cloreto de sódio	75	Em processo de esgotamento
Zinco	Zinco	47	Em processo de esgotamento
* As células em branco indicam valores não encontrados na bibliografia pesquisada.			

Fonte: Grigoletti (2001, p.34)

2.2 Sustentabilidade

A preocupação sobre a interatividade entre o meio ambiente e o homem, não é algo exclusivo dos tempos atuais. Como os materiais construtivos, a sustentabilidade vem evoluindo ao longo da história. Povos antigos já se preocupavam com a limitação de seus recursos naturais, a água e o solo fértil, controlando a exploração dos mesmos (GRIGOLETTI, 2001; DRUSZCZ, 2002; CORRÊA, 2009; TEODORO, 2011).

Até mesmo Platão, um dos grandes filósofos da antiguidade, chamava a atenção para o fato dos recursos naturais não serem infinitos, enfatizando a racionalização destes recursos, sob pena de comprometer a sobrevivência da comunidade apoiada na extração das matérias-primas (GRIGOLETTI, 2001).

Mas, segundo Druszcz (2002), foi apenas no último terço do século XX que se teve consciência da influência que a construção civil exercia sobre o meio ambiente. Foi nesse

período que começaram as discussões sobre o consumo de recursos, a poluição nas cidades, o aumento da população e outros fatores que pareciam estar ligados aos problemas ambientais.

Na década de 70 (em 1972), em Estocolmo, na Suécia, aconteceu a Conferência das Nações Unidas referidas ao Ambiente Humano, sendo, desta forma, o primeiro evento deste porte a tratar das relações entre o homem e o meio ambiente. A conferência teve como objetivo conscientizar os países sobre a importância de se promover a limpeza dos grandes centros urbanos, combate à poluição marinha e a limpeza dos rios nas bacias hidrográficas mais povoadas. A palavra chave da Conferência de Estocolmo foi “poluição”. Com resultado deste evento, foi elaborada a Declaração de Estocolmo sobre o meio ambiente (DRUSZCS, 2002).

Vários outros relatórios foram criados com o mesmo fundamento da Conferência de Estocolmo, ou seja, o de preservar o meio ambiente. Grigoletti (2001), Druszcz (2002), Corrêa (2009) e Teodoro (2011) descrevem alguns eventos que são referência quando se fala em Desenvolvimento Sustentável, tais como:

- o Relatório de Brundtland, também chamado de: Nosso Futuro Comum (1987). Observa-se que no início de 1980, a ONU retomou o debate das questões ambientais. Em uma comissão chefiada por Gro Harlem Brundtland, primeira ministra da Noruega, foram feitas audiências em diversos países, tendo como pauta o meio ambiente. As discussões resultaram no Relatório de Brundtland, que propõe o desenvolvimento sustentável, que segundo o próprio documento, é aquele desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem a possibilidade comprometer as gerações futuras quanto às suas necessidades;
- a Agenda 21, desenvolvida na ECO-92 ou ainda conhecida como Rio-92, realizada no Rio de Janeiro, no ano de 1992. Tal evento foi importante no que diz respeito ao envolvimento da comunidade global e a preocupação com as questões relativas ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável;
- a Declaração de Instambul e a Agenda Habitat II, desenvolvidas na Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos, conhecida como Habitat II (1996). Para o setor da construção civil, a Agenda Habitat II tem maior relevância, pois aborda de forma mais explícita o papel deste setor na busca pelo desenvolvimento sustentável dos países, regiões e municípios.

Porém, destaca-se que o mais recente evento ocorreu em junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro, sendo conhecido como Rio+ 20. Seu objetivo foi assegurar um comprometimento político renovado para o desenvolvimento sustentável, avaliar o progresso feito até o momento no que se refere a este tema e as lacunas que ainda existem na implementação dos resultados dos principais encontros sobre desenvolvimento sustentável, além de abordar os novos desafios emergentes (RIO + 20).

O conceito de desenvolvimento sustentabilidade provoca inúmeras discussões e ainda está em processo de construção. Mas o avanço mais importante é a crescente conscientização da opinião pública e a pressão dos movimentos civis e grupos com ideologias apoiadas na ecologia, os quais estão desempenhando grande papel neste processo (GRIGOLETTI, 2001).

2.2.1 A sustentabilidade e a construção civil

Segundo Druszcz (2002), a construção corresponde à uma parcela significativa dos impactos gerados pelas atividades humanas sobre o meio ambiente. O impacto ocorre em toda a cadeia produtiva, desde a concepção dos edifícios até sua demolição. Os próprios insumos construtivos são grandes consumidores de energia e de recursos naturais. Durante todas as fases de uma edificação, principalmente na execução, ocorre a geração de uma alta quantidade de resíduos, o que afeta muito a vida nas grandes áreas urbanas.

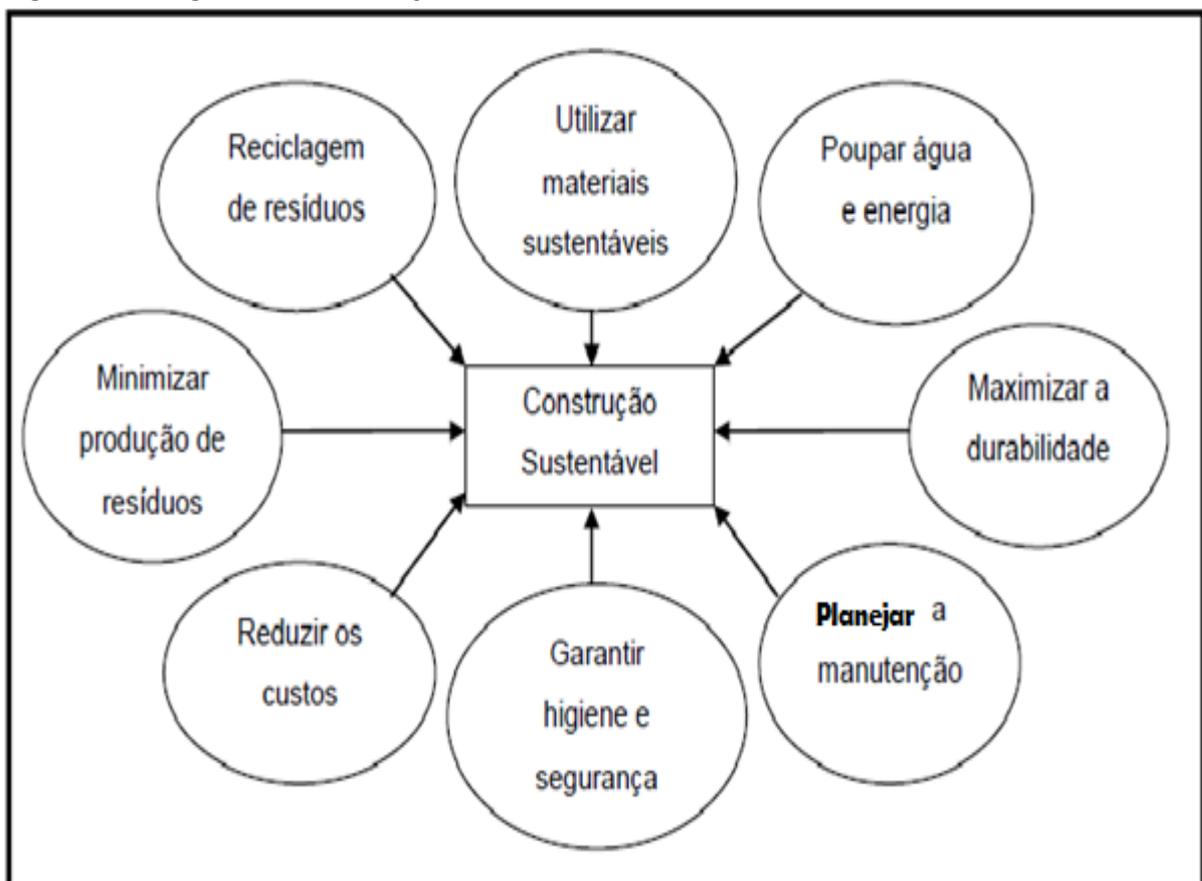
Ademais, a incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado, tornando-se já um caminho sem volta, pois o governo, investidores, associações e consumidores, estão alertando, estimulando e pressionando o setor da construção civil a incorporar a sustentabilidade em suas atividades (CORRÊA, 2009). No entanto, Gregoletti (2001) e Druszcz (2002) afirmam que as variáveis e a importância delas difere em cada país, ocorrendo a incorporação da sustentabilidade de maneira diferente em países com situações econômicas distintas. É comum que países já desenvolvidos, com economias maduras se preocupem em dedicar maior atenção à criação de construções sustentáveis, por meio de melhorias, novos desenvolvimentos ou intenção e uso de novas tecnologias, enquanto que, nos países em desenvolvimento, eles se envolvam com questões referidas à igualdade social e a sustentabilidade econômica.

Neste contexto, Zarpelon (2012) afirma que frente às tendências mundiais, a construção civil brasileira ainda está em estágio embrionário, enquanto o setor deveria ser o principal articulador para alavancar as mudanças sistêmicas da sociedade. Nos países

desenvolvidos, tanto fábricas, quanto casas, captam a água da chuva e a energia solar, reduzindo não somente impactos ambientais, mas também as tarifas mensais de consumo. Assim, a necessidade de investimentos em novas tecnologias e materiais, projetos gerenciados, propagandas voltadas à comercialização de imóveis sustentáveis e políticas governamentais, são algumas das demandas emergentes relacionadas ao setor no país.

Em face dessas considerações, pode-se dizer que quem pensa que o objetivo da sustentabilidade é fazer com que a natureza permaneça intocável, está enganado, já que essa é uma visão incoerente para a atualidade. O que se procura é minimizar os efeitos da construção no ambiente, sem prejudicar a natural evolução tecnológica (TEODORO, 2011). O referido autor ainda afirma que as prioridades que devem ser consideradas durante a fase do projeto, para se obter uma construção sustentável, podem ser representadas na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama da construção sustentável



Fonte: Teodoro (2011, p.6)

Conforme pode ser visto na Figura 2, as construções sustentáveis baseiam-se nos seguintes pilares:

- minimizar a produção de resíduos: de forma a garantir menor necessidade de reciclagem e menor poluição no meio ambiente;
- realizar a reciclagem de resíduos: reduz-se assim a poluição e a necessidade de ir buscar mais matéria-prima à natureza;
- utilizar materiais sustentáveis: essencial para uma construção sustentável;
- poupar energia e água: importante por motivos ambientais e econômicos;
- maximizar a durabilidade: de forma à adiar uma futura reabilitação ou até mesmo demolição, assim tirando proveitos econômicos e ambientais. Adia-se, deste modo, a necessidade de ir à natureza para buscar novos recursos naturais;
- Planejar a manutenção: essencial para maximizar a durabilidade da construção;
- Reduzir os custos: obtendo-se benefícios a todos os níveis;
- Garantir higiene e segurança: para o bem dos trabalhadores e da construção em si.

2.3 O uso da cerâmica na construção civil

Como definem Rego (2010) e Bauer (2005b), costuma-se chamar de pedras artificiais uma série de materiais que substituem as pedras em suas aplicações ou têm aparência geral semelhante. Sendo assim feitas com elementos artificiais, porém, muitas vezes compostas de materiais naturais com composições químicas alteradas. Sob esse enfoque, Bauer (2005b) afirma que as pedras artificiais pertencem, normalmente, a dois grandes grupos: os materiais de cerâmica e os de cimento.

Na visão de diversos autores, como Gregoletti (2001), Druszcz (2002), Martins (2004), Bauer (2005b), Isaia (2007a), Petrucci (2007), SEBRAE (2008), Afonso e Andrade (2009), Silva (2009) e Baccelli Júnior (2010), a indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo, pois a argila é utilizada em todas as sociedades, das mais antigas às modernas. Como já dito, os materiais cerâmicos foram utilizados pela humanidade, desde os mais longínquos tempos da sua existência. Uma vez que a matéria prima é abundante, os produtos cerâmicos tornaram-se algo essencial ao longo da História. Gregoletti (2001) ainda consolida que, no decorrer do desenvolvimento da humanidade, nos quatro continentes, existem manifestações do uso deste material, demonstrando sua versatilidade e acessibilidade em diferentes culturas.

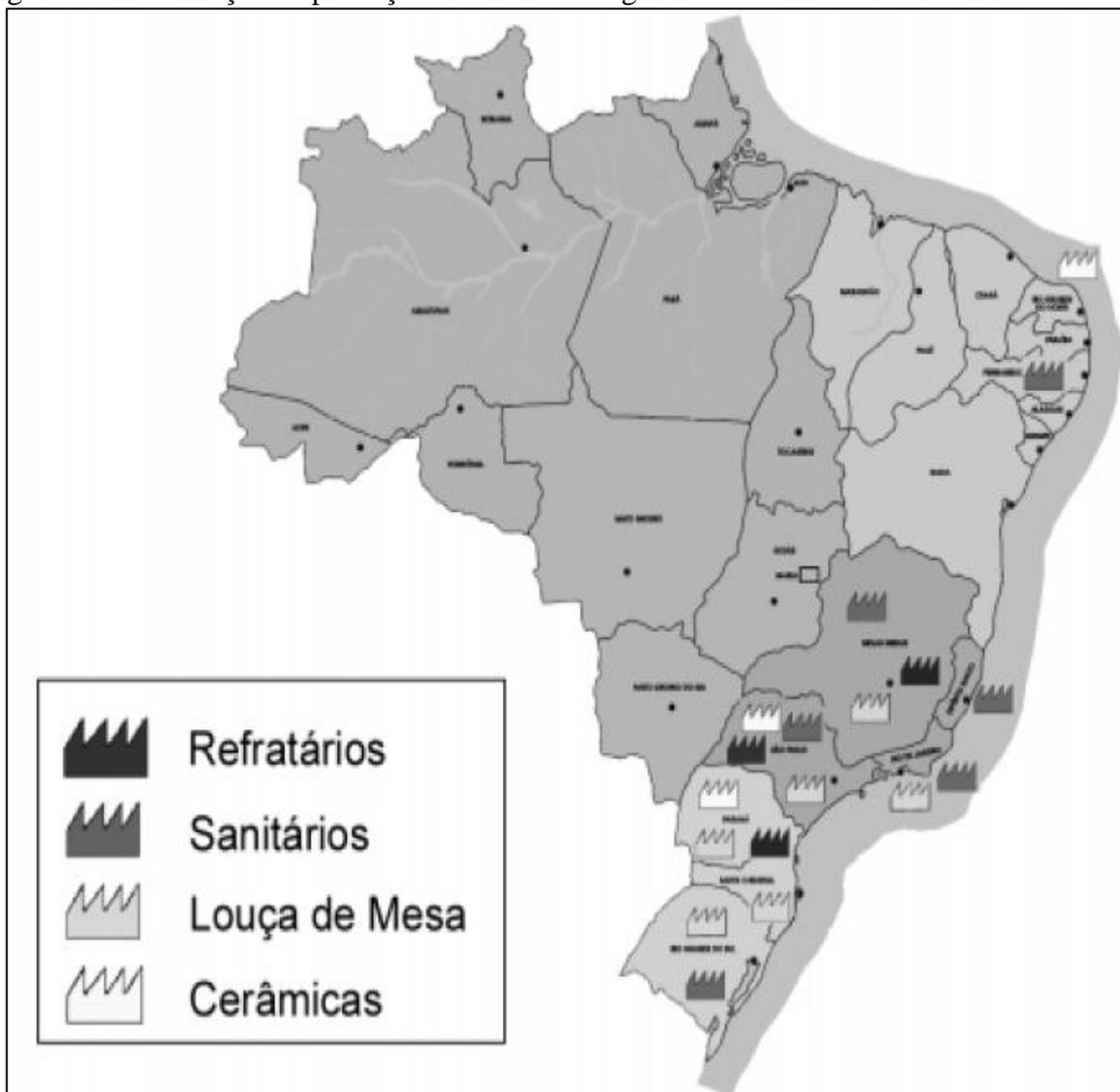
No Brasil, há mais de 2000 anos, antes mesmo de seu “descobrimento”, já existia a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos cerâmicos. A cerâmica mais elaborada foi encontrada na Ilha do Marajó, tendo sua origem na avançada cultura indígena da Ilha. Entretanto, estudos arqueológicos mostram que a presença de uma cerâmica mais simples ocorreu na região da Amazônia, há mais de 5000 anos atrás (SEBRAE, 2008).

É importante ressaltar que os materiais cerâmicos, nas suas variadas aplicações, continuam ainda sendo amplamente utilizados e, deste modo, podem ser relacionados a um alto padrão de vida, devido às suas características que os tornam superiores a outros materiais. Em face dessas considerações, Grigoletti (2001) coloca em evidência que as cerâmicas apresentam características tais como o valor estético e cultural, conforto, porosidade que mantém o clima interior com baixa umidade, excelente isolamento térmico e acústico, resistência à altas temperaturas e à propagação do fogo e versatilidade de projeto. Também estão associadas a estas qualidades a sua alta resistência mecânica e durabilidade, por serem materiais quimicamente estáveis, não sendo atacados por agentes como os que ocorrem nos materiais orgânicos (são estáveis em ambientes hostis). Martins (2004) afirma ainda que além de isolantes térmicos e acústicos, também são bons isolantes elétricos, e tem pontos de fusão relativamente altos.

Entretanto, Baccelli Júnior (2010) observa outro aspecto importante, onde as argilas possuem propriedades variadas que, a depender da localização geográfica, é necessário um planejamento para harmonizar todas as características físico-químicas. Mas isso não proíbe o fato de que, em várias partes do mundo, o mercado produtor de blocos cerâmicos é um dos maiores mercados dentro do setor da construção civil, garantindo matéria-prima suficiente para a construção de edificações com as mais variadas finalidades (DRUSZCZ, 2002).

No Brasil, segundo Baccelli Júnior (2010), o segmento de cerâmica está distribuído em micro e pequenas empresas e os segmentos tradicionais estão localizados por todo o território nacional, no entanto, a maioria das indústrias se concentra nas regiões sul e sudeste, conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Localização da produção brasileira de segmentos cerâmicos tradicionais



Fonte: Bustamante e Bressiani (2000, p. 32)

Ainda, cabe mencionar que, no Brasil, divide-se o setor cerâmico em segmentos que se diferenciam pelos produtos obtidos e pelos mercados que estão inseridos (BACCELLI JÚNIOR, 2010). Os principais segmentos são classificados a partir do valor anual de sua produção (Tabela 1). Assim, pode-se perceber que a cerâmica vermelha se destaca como maior produção anual.

Tabela 1 – Segmentos cerâmicos nacionais e suas respectivas produções

Segmento	Valor da Produção (1.000 US\$ / Ano)
Cerâmica Estrutural (Vermelha)	2.500.000
Revestimentos (pisos e azulejos)	1.700.000
Matérias Primas Naturais	750.000
Refratários	380.000
Cerâmica Técnica, Especiais, outras	300.000
Sanitários	200.000
Louça de Mesa e Adorno	148.000
Fritas, Vidrados e Corantes	140.000
Matérias Primas Sintéticas	70.000
Cerâmica Elétrica	60.000
Equipamentos para Cerâmica	25.000
Abrasivos	20.000
Total do Setor	6.293.000

Fonte: Bustamante e Bressiani (2000, p. 32)

2.3.1 Argila para cerâmicas vermelhas

Segundo Martins (2004) e Isaia (2007a), as cerâmicas são obtidas a partir do tratamento térmico de materiais inorgânicos, não metálicos, em temperaturas elevadas. No caso da cerâmica vermelha, a matéria prima utilizada para a fabricação é a argila. Nesse contexto, compreende-se cerâmica vermelha como material com coloração avermelhada, empregados na construção civil, tais como tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, tabelas, tubos cerâmicos, argilas expandidas e utensílios de uso doméstico e decorativo. Os produtos são obtidos pela moldagem, secagem e queima de argila ou misturas contendo argila (VIEIRA; SILVA, 2009).

Nessa linha de pensamento, Bauer (2005b), Ribeiro, Pinto e Starling (2006), Isaia (2007a), Petrucci (2007) e Baccelli Júnior (2010), descrevem a argila como um material natural, terroso, de baixa granulometria, composto, basicamente, por silicatos de alumínio hidratados, formando com água uma pasta plástica, suscetível de se transformar nos diversos materiais cerâmicos utilizados na construção civil, conservando a forma moldada, secando e endurecendo sob a ação do calor. Isaia (2007a) ainda complementa que as argilas utilizadas para a confecção de componentes de cerâmica vermelha são constituídas por argilominerais (onde se enquadra os silicatos de alumínio) e minerais acessórios. Sob esse enfoque, o autor

referido desenvolve o Quadro 2, destacando as propriedades de outros materiais constituintes da argila.

Quadro 2 - Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas

ELEMENTOS	PRINCIPAIS PROPRIEDADES
Alumina	Propicia estabilidade dimensional em temperaturas elevadas.
Carbonato, sulfato de cálcio e magnésio	Resultam em expansão volumétrica; agem como fundentes.
Matéria orgânica	Resulta em retração, fissuras durante os processos de sazonalidade e queima e diferenças de coloração em um mesmo componente cerâmico.
Sílica livre	Diminui a retração durante os processos de sazonalidade e queima; reduz a plasticidade da argila.
Silicatos e fosfatos	São fundentes, alguns aumentam a resistência da cerâmica.
Sais solúveis	Propiciam o aparecimento de eflorescências nos componentes cerâmicos.

Fonte: Isaia (2007a, p. 564)

Bauer (2005b) ainda descreve outros componentes da argila tais como:

- Caulim: é a argila com amplo predomínio da caulinita (pó branco que é matéria-prima da porcelana). Seco é untuoso ao tato. Umedecida a caulinita é muito plástica. Ao secar apresenta grande retração;
- Óxido de ferro: ao misturar-se com a caulinita resulta na cor vermelha ou amarelada da maioria das argilas. Ele reduz a propriedade da argila ser refratária;
- Álcalis: baixam o ponto de fusão e dão porosidade, o que ajuda a facilitar a secagem e o cozimento, porém, também provoca redução da plasticidade.

2.3.1.1 Propriedades das argilas

Dentre a grande versatilidade de produtos fabricados com argila, Martins (2004), Bauer (2005b) e Petrucci (2007) enfatizam que existem três propriedades importantes que englobam todos os produtos cerâmicos, que são: a plasticidade, a retração e o efeito do calor. Os supracitados autores descrevem as propriedades como:

- Plasticidade: define-se um corpo plástico como o que pode ser continuamente deformado, sem sofrer ruptura. Não possui limite de elasticidade e não pode ser encruado à frio. É o caso das argilas molhadas, que tornam-se maleáveis. Juntando-se água, lentamente a uma argila, notam-se duas fases. No início ela se desagrega facilmente e no final ela fica mole demais. O ponto em que se limitam essas duas fases, ou seja, quando não se desagrega mais, mas ainda não é pegajosa, é conhecido como o ponto de maior plasticidade. A quantidade de água necessária para se alcançar esse ponto varia de argila para argila, podendo ser 10% para argilas gordas e 50% para argilas magras. As argilas gordas são muito plásticas e, devido a alumina, deformam-se muito mais no cozimento. As argilas magras, por sua vez, devido ao excesso de sílica são mais frágeis. Se a argila se encontra muito profunda em sua jazida, pode-se dizer que é menos plástica, devido às grandes pressões a que foi sujeita. Por vezes é necessário reduzir a plasticidade, sendo necessária nesses casos a adição de corretivos (areias quartzosas ou argilas reduzidas a pó).
- Retração: propriedade que se manifesta com a redução de volume por efeito da secagem e da cozedura. As argilas são pseudo-sólidos, uma vez que, no seu interior, existe uma rede capilar. Quando um bloco de argila é posto a secar ao ar livre, inicialmente a velocidade de evaporação da água é igual à que teria uma superfície de água igual a do bloco. No entanto, depois a velocidade de evaporação vai diminuindo, em função do fato de que as quantidades de água vindas das camadas internas são cada vez menores. Com esse processo, no lugar antes ocupado pela água, passam a existir vazios e, conseqüentemente, o conjunto retrai e o bloco pode vir a se deformar. A retração é proporcional ao grau de umidade e varia também com a composição da argila: quanto mais caulinita, maior a retração. No caulim, a retração é na ordem de 3 a 11%, e nas argilas mais magras para tijolos, vai de 1 a 6%.
- Efeito do calor: aquecendo-se a uma temperatura entre 20 e 150°, a argila perde somente a água de capilaridade e amassamento. De 150 a 600° ela perde a água adsorvida, e a argila vai se enrijecendo. Até esse ponto, ocorreram apenas alterações físicas. Mas a partir dos 600°, iniciam-se as alterações químicas, em três estágios. Num primeiro estágio há a desidratação química, onde a água de constituição também é expulsa, resultando o endurecimento e a queima das matérias orgânicas. O segundo estágio é a oxidação, onde

os carbonetos são calcinados e se transformam em óxidos. A partir do terceiro estágio, que inicia por volta dos 950°, ocorre a vitrificação. A sílica de constituição e a das areias formam uma pequena quantidade de vidro, que aglutina os demais elementos, dando dureza, resistência mecânica e compactação ao conjunto: nasce assim a cerâmica propriamente dita. A qualidade de um artigo cerâmico depende, acima de tudo, da quantidade de vidro formado. É infinita nos tijolos comuns e grande nas porcelanas.

2.3.1.2 Fatores de desagregação dos produtos cerâmicos

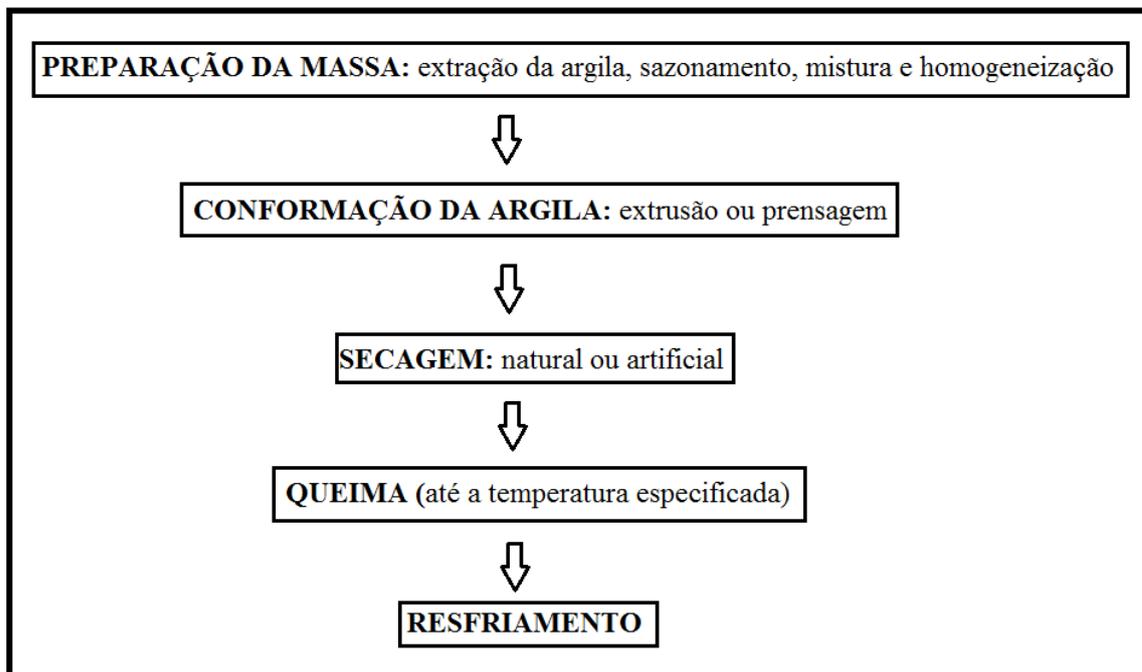
De acordo com Martins (2004) e Bauer (2005b), a cerâmica pode vir a desagregar sob a ação de três agentes distintos:

- Agentes físicos externos: aqui destacam-se a umidade, a vegetação e o fogo. Os dois primeiros atuam através dos poros, dependendo, assim, da porosidade, onde a mesma será mais pernicioso quanto mais poroso for o produto cerâmico. Já o fogo atua na diminuição da resistência à compressão, que é diminuída à medida que se aumenta a temperatura.
- Agentes químicos internos: neste contexto normalmente se enquadram os sais solúveis. A umidade absorvida do ambiente externo pode vir a dissolver estes sais, os quais virão a se cristalizar na superfície, ocasionando o que se chama de eflorescência, que além de provocar uma má aparência, pode vir a ocasionar o deslocamento e queda do revestimento.
- Agentes mecânicos: os mesmos, por seus esforços, podem vir a destruir as peças. As peças cerâmicas resistem muito mais à compressão do que à torção e a tração na flexão, devendo-se, assim, fazer seu uso de forma à otimizar suas potencialidades.

2.3.2 Fabricação de produtos cerâmicos

Diversos autores, como Grigoletti (2001), Druszcz (2002), Martins (2004), Bauer (2005b), Isaia (2007a), Petrucci (2007), Silva (2009) e Baccelli Júnior (2010), descrevem em suas obras o processo de fabricação de produtos cerâmicos. Apesar de cada autor apresentar suas considerações particulares, verifica-se que algumas etapas de fabricação descritas são comuns a todos, como demonstra o diagrama apresentado por Isaia (2007a), representado na Figura 4.

Figura 4 – Diagrama esquemático do processo de fabricação de elementos/objetos/produtos de cerâmica vermelha



Fonte: Isaia (2007a, p. 572)

Com base nos autores citados anteriormente, entre os itens 2.3.2.1 e 2.3.2.4 serão descritas, de forma concisa, as etapas do processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha.

2.3.2.1 Preparação da massa

A definição do local de extração das argilas deve ser realizada em função do tipo de componente a ser fabricado, onde os principais componentes a serem considerados são: a composição da jazida (tipos de argilominerais existentes e pureza da jazida), a qualidade da jazida e os custos do transporte até a fábrica. A extração da argila normalmente é feita com o auxílio de pás carregadeiras, retroescavadeiras ou tratores de esteiras, e o transporte até o depósito é feito em caminhões basculante.

A preparação da massa, que ocorre por meio das operações de sazonalidade, mistura e laminação, tem como principais objetivos adequar a dimensão dos grãos de argila ao processo de moldagem a que será submetida, reduzir o teor de impurezas existentes e aumentar sua reatividade. O sazonalidade é realizado pela maioria das indústrias de cerâmica vermelha e consiste na exposição da argila à intempéries, de modo que ocorram alterações das suas características, tais como lixiviação de sais solúveis, desagregação dos torrões e aumento de

sua reatividade. O tempo necessário para o sazonalamento depende da argila e do tipo de componente a ser moldado, podendo variar de 1 a 12 meses.

A mistura de duas ou mais argilas é um processo muito utilizado e tem por finalidade corrigir as deficiências existentes na argila proveniente da jazida principal, sendo realizada em função das características e do tipo de componente de cerâmica vermelha a ser fabricado. A argila muito pura tende a retrair-se muito e deformar-se (quanto mais colóides tiver, maior será sua retração). Por isso, é comum sua mistura a outros elementos (como a areia), para baixar a proporção de grãos finos. Em contrapartida, uma argila muito magra fica com poucos colóides, muito porosa e torna-se quebradiça, absorvendo, depois muita umidade. Esta correção chama-se loteamento do barro.

O amassamento serve para preparar a argila para a moldagem, com a qual muitas vezes é confundido ou ocorrido de forma simultânea. Conforme o tipo de barro e moldagem, é usada ou não água. Essa etapa pode ser realizada por processos mecânicos ou manuais.

Conforme o porte da empresa, são usados um maior ou menor número de máquinas para desenvolver algum tipo de tratamento. Têm-se como exemplos os desagregadores (servem para quebrar os torrões duros), moinhos (para moer), cilindros (para quebrar pedras) e marombas (cilindros, horizontais ou verticais, no interior dos quais existem pás ou hélices que homogeneízam a mistura e a levam para a moldagem).

2.3.2.2 Conformação da argila

Conformação da argila, etapa também conhecida como moldagem, é a operação que dá a forma desejada à pasta de cerâmica. Existem vários sistemas de conformação que dependem essencialmente do tipo de produto que se pretende obter e das características de plasticidade da matéria-prima que se tem à disposição. A moldagem pode ser realizada por extrusão ou por prensagem. O processo de extrusão é o mais comum na fabricação de blocos e tijolos, enquanto a prensagem é mais utilizada para fabricação de telhas.

Na moldagem por extrusão, a massa ainda úmida (com variância nos valores de umidade) e em fase plástica, é colocada numa extrusora a vácuo, também conhecida como *maromba*, que tem as funções de retirar o excesso de ar existente na massa cerâmica e conformá-la por meio da passagem por uma boquilha, que funciona como molde para a cerâmica. O bloco de argila extrudido é contínuo, devendo ser cortado nas dimensões previstas para o tipo de componente que está sendo fabricado.

2.3.2.3 Secagem

As argilas utilizadas na fabricação de cerâmica vermelha possuem usualmente um teor elevado de umidade (necessário para viabilizar sua moldagem), que deve ser retirado lentamente da peça cerâmica, de modo a impedir o aparecimento de fissuras ou deformações excessivas. Durante o processo de secagem, ocorre migração de água para o exterior, e o calor gerado pela evaporação dessa umidade aquece a superfície do elemento moldado. Como consequência, a superfície seca mais rápido do que o interior do componente, resultando numa contração diferencial com relação ao interior que gera tensões que podem vir a causar fissuras e/ou deformações.

A velocidade de secagem é influenciada pela umidade relativa do ar, pela temperatura, a direção de incidência do ar sobre o componente e a forma do componente moldado, e também pela granulometria (argilas mais finas apresentam uma secagem mais lenta) e composição mineralógica da argila.

A secagem pode ser executada por meio de dois processos: secagem artificial e secagem natural. A secagem artificial é realizada em estufas ou câmaras de alvenaria onde se aproveita o calor do forno de queima. Pode ser feita pelo processo contínuo (secadores de câmaras paralelas ou do tipo túnel) ou intermitente (por batelada). Em geral, sua duração é inferior a três dias. Já a secagem natural é realizada por meio de estocagem dos elementos extrudados em prateleiras, em local protegido de chuva. Os componentes ficam expostos ao ar ambiente, até que sua umidade chegue ao teor especificado para a fabricação (geralmente inferior a 1%). O tempo necessário para a secagem natural depende das condições ambientais, ficando geralmente entre 10 e 30 dias.

2.3.2.4 Queima e resfriamento

Após a secagem, as peças são transportadas para o forno, onde passam a ser submetidas a um tratamento térmico de queima em altas temperaturas, operação fundamental que, por meio de mudanças físico-químicas irreversíveis, provocam alterações nas propriedades mecânicas e conferem características inerentes a todo produto cerâmico como cor, resistência e dimensões. No começo do processo de aquecimento, até cerca de 150°C, ocorre a evaporação da água livre. Desta temperatura, até aproximadamente 600°C, ocorre a perda da água adsorvida. A partir de então, dá-se o início de diversas reações químicas, ocorrendo desidratação química e decomposição da matéria orgânica existente na argila.

Posteriormente, ocorre a oxidação e, a partir de 800°C a 1100°C, acontece a vitrificação da argila. Na fabricação de blocos e tijolos de cerâmica vermelha, a temperatura máxima atingida fica na ordem de 800°C a 1100°C. Em outros componentes pode superar 1200°C.

Na medida em que se eleva a temperatura, ocorre uma constante mudança de cor da argila, que se torna rósea e, posteriormente, escurece, passando por tons de marrom e podendo chegar até a cor preta, quando submetida a temperaturas muito elevadas. A cor da cerâmica é, muitas vezes, um requisito especificado pelo mercado, exigindo com que o fabricante selecione a composição da argila (em especial, a quantidade de óxidos de ferro) e o ciclo de queima, de modo a obter, simultaneamente, a cor e as propriedades mecânicas e físicas necessárias para o componente cerâmico.

Deve-se ter ainda uma especial atenção quando a argila apresentar grandes quantidades de matéria orgânica (superior a 1%) e baixo teor de óxidos de ferro, sendo estes os principais responsáveis pelo aparecimento do “coração negro”, defeito de fabricação em que a parte central do elemento fabricado apresenta uma cor escura, variando entre preto e cinza.

Após o processo de queima, os componentes cerâmicos devem ser submetidos a um lento resfriamento (geralmente variando entre 8 e 24 horas).

2.3.3 Tipos de fornos

Segundo Grigoletti (2001) o forno é o equipamento fundamental da indústria cerâmica e o grande avanço na produção da cerâmica ocorre graças ao aperfeiçoamento desses equipamentos. Assim, os fornos são equipamentos utilizados no processo de queima e são classificados em intermitentes (ou periódicos) e contínuos.

Os fornos intermitentes são especialmente concebidos para a queima de pequenos volumes de peças. O calor dos mesmos é gerado fora dos fornos e circula por seus interiores, através do empilhamento de material cerâmico até a chaminé. O material não é cozido de forma uniforme, podendo ser assim necessário desprezar algumas unidades no final da operação, por excesso ou falta de queima. Além desse inconveniente, eles funcionam num regime de carga – queima - descarga, não permitindo deste modo a continuidade na produção. O custo da queima é responsável por 40 a 50% do custo total para indústrias que utilizam os fornos intermitentes. Caracterizam-se, assim, por baixa produção e elevado consumo de

energia (GRIGOLETTI, 2001; SILVA, 2009). Com base nos autores já citados e também em Bauer (2005b), Isaia (2007a) e Baccelli Júnior (2010), pode-se enquadrar como fornos intermitentes de maior uso no Brasil o forno paulista (Figura 5), o forno abóboda (Figura 6) e o forno comum (sendo este último o mais utilizados nas pequenas olarias do Rio Grande do Sul, também conhecido como forno “campanha” ou “caipira”, podendo ser observado na Figura 7).

Figura 5 – Forno paulista.



Fonte: Oliveira, 2011.

Figura 6 – Forno abóboda.



Fonte: Baccelli Júnior, 2010.

Figura 7 – Forno comum.



Fonte: Oliveira, 2011.

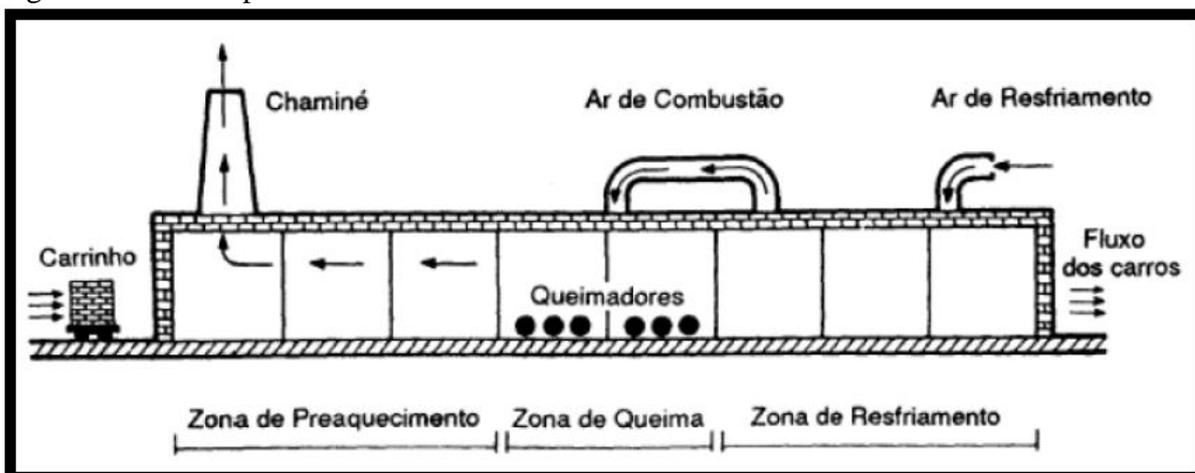
Em contrapartida, segundo Silva (2009), os fornos contínuos são econômicos e de operação simples. O carregamento e o descarregamento das peças ocorrem de forma contínua. Destinam-se, assim, a grandes capacidades de produção e exigem bastante conhecimento teórico por parte do operador. De acordo com Grigoletti (2001), os fornos contínuos são caracterizados por serem formados por uma série de câmaras, de modo que, quando uma câmara estiver em processo de queima, o ar aquecido será levado a atravessar todas as demais câmaras antes de sair pela chaminé, resultando em produção contínua, em ciclos de 24h/dia, sem necessidade de paradas para cargas ou descargas dos produtos. Cita-se, assim, os fornos contínuos mais utilizados: o tipo Hoffmann (Figura 8) e o tipo túnel, Figura 9 (GRIGOLETTI, 2001; BAUER, 2005b; ISAIA, 2007a; SILVA, 2009; BACCELLI JÚNIOR, 2010).

Figura 8 – Forno tipo Hoffmann.



Fonte: Oliveira, 2011.

Figura 9 – Forno tipo túnel.



Fonte: Oliveira, 2011.

2.3.4. Tijolos cerâmicos

Vários são os tipos de tijolos cerâmicos, porém, Petrucci (2007) e Silva (2009) classificam os mesmos da seguinte maneira:

- a) Tijolos (maciços): o volume da argila cozida não é inferior a 85% de seu volume total aparente. Possui forma paralelepípedica, de dimensões (aproximadamente) na proporção 4: 2: 1. É utilizado fundamentalmente para alvenarias.
- b) Blocos (furados): apresentam furos ou canais de formas e dimensões variadas, paralelos às suas maiores arestas. No geral possuem forma e dimensões semelhantes e com aplicação idêntica aos tijolos maciços.
- c) Tabelas: com formatos variados e usados principalmente como elementos de fechamento das lajes mistas ou peças de ligação de vigotas pré-fabricadas.

2.3.4.1 Tijolos comuns maciços

Os tijolos maciços, também chamados de tijolos de barro cozido, podem ser classificados entre duas categorias: maciços comuns e especiais. Os maciços devem possuir dimensões nominais de 19 x 9 x 5,7 cm ou de 19 x 9 x 9 cm. Tijolos fabricados sob formas ou dimensões nominais diversas das especificadas para tijolos comuns são denominados, segundo a NBR 7170 (ABNT, 1983), tijolos especiais. De forma geral, os tijolos maciços apresentam resistência à compressão entre 1,5 MPa e 20 MPa, possuem elevada absorção de água (entre 15% e 25%) e facilidade de corte (ISAIA, 2007a).

Nesta linha de pensamento, Bauer (2007b) caracteriza o tijolo comum como um tijolo com baixo custo de fabricação, pois, geralmente é moldado manualmente, em moldes de madeira, nas chamadas olarias e, normalmente, é utilizado em alvenaria de vedação. Quando se deseja utilizá-lo com fins estruturais, ou em alvenarias com o aparelho aparente (chamado de tijolo à vista, é fabricado manualmente, porém, com mais esmero, ou mais modernamente em máquinas que imprimem certo esforço no barro em formas metálicas – chamados popularmente de maquinado), ele deve apresentar características e desempenhos condizentes, tais como: formato regular, arestas firmes e vivas, absorção e resistências adequadas, logicamente um produto de melhor qualidade quando comparado com tijolo comum.

Petucci (2007) também descreve características de qualidade que devem ser levadas em conta nos tijolos maciços para alvenarias, que são:

- a) Forma regular e igualdade de dimensões garantindo uniformidade no assentamento.
- b) Cantos resistentes e arestas vivas.
- c) Homogeneidade da massa, com ausência de trincas, fendas, cavidades e corpos estranhos.
- d) Cozimento parelho, produzindo som metálico quando percutido com martelo.
- e) Facilidade de corte, apresentando fratura de grão fino, homogênea e de cor uniforme.
- f) Resistência à compressão suficiente para o fim proposto.
- g) Absorção de água compreendida entre 10% e 18%. Valores superiores traduzem permeabilidade e porosidade do produto. Valores muito baixos indicam dificuldades para a aderência das argamassas de recobrimento.

2.4 O uso do solo-cimento

Como já dito anteriormente, a construção com terra foi uma solução encontrada pelo homem primitivo para efetivar a construção de abrigos eficientes contra o meio ambiente hostil, em locais que apresentavam dificuldades de manuseio de madeira e pedras. Entretanto, segundo Grande (2003), as primeiras notícias de pesquisas sobre a utilização de terra como elemento construtivo ocorreram apenas no final do século XVIII.

Assim, a conceituação do solo-cimento teve sua origem no ano de 1917, em Salzburg. Somente depois de 1932 têm-se relatos dos primeiros trabalhos cientificamente controlados, por meio de sua utilização na pavimentação de 17000 m² em Johnsonville, Carolina do Sul, Estados Unidos. Em 1944, a American Society for Testing Materials (ASTM) começou a

normalizar ensaios com solo-cimento, sendo seguida pela Portland Cement Association (PCA) e pela American Association of State Highway Officials (AASHO). Já, no Brasil, o interesse pelo assunto ocorreu a partir de 1936, por meio da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que pesquisou e regulamentou a aplicação do solo-cimento (BAUER, 2005a).

Neste contexto Thomaz (1979) afirma que o primeiro emprego do uso de solo cimento na construção civil brasileira ocorreu na cidade de Santarém, no estado do Pará, em 1945. Em tal localidade foi construída uma casa de máquinas (bombas), com uma área de 42m² de uso para abastecer as obras de construção do aeroporto local. Passados os anos, em 1948, foram construídas casas residenciais de solo-cimento no logradouro de Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis (RJ). Depois, em 1953, inaugurou-se o Hospital de Tuberculosos de Manaus (AM), hoje, Hospital Geral Adriano Jorge, com 800m² de área total construída, inteiramente feito com paredes monolíticas de solo-cimento.

O bom estado de conservação em que essas edificações encontram-se em anos recentes atesta a qualidade do material e da técnica construtiva. Em função disso, o uso do solo-cimento foi considerado adequado, devido as vantagens técnicas e econômicas que o material oferece (FUNTAC, 1999; FREIRE, 2003; GRANDE, 2003; MILANI, 2005; CORDEIRO, 2006; BAUER, 2005a; ANTUNES, 2008; MIELI, 2009; SOMA,2012).

2.4.1 Conceito e aplicações do solo-cimento

Diversos estudos, tais como os realizados pela FUNTAC (1999), Freire (2003), Grande (2003); Milani (2005), Cordeiro (2006), Bauer (2005a), Isaia (2007b), Antunes (2008), Mieli (2009), Souza (2011) e Soma (2012), apresentam o solo cimento como uma mistura de solo pulverizado, cimento Portland e água, os quais, sob compactação a um teor de umidade ótima, constituem-se em um material estruturalmente resistente, estável, durável e de baixo custo.

De acordo com Soma (2012) e Isaia (2007b), o solo-cimento pode ser utilizado por meio das seguintes formas:

- a) Solo-cimento ensacado: tem origem na colocação da mistura de "farofa" úmida em sacos, que funcionam como fôrmas. Depois de terem a sua boca costurada, esses sacos são colocados na posição de uso, onde passam a ser compactados, um a um. O

processo de execução é semelhante à construção de muros de arrimo com matacões de pedra.

- b) Tijolos ou blocos de solo-cimento: são produzidos em prensas hidráulicas ou manuais, dispensando a queima em fornos. Devem ser umedecidos, para que se tornem resistentes. Além de resistentes, outra vantagem desses tijolos ou blocos é o seu ótimo aspecto.
- c) Pavimentos: também são compactados no local, com a ajuda de fôrmas, em uma única camada. Eles constituem placas maciças, totalmente apoiadas no chão.
- d) Paredes maciças: são compactadas no próprio local da obra, em camadas sucessivas, no sentido vertical, com o auxílio de fôrmas ou guias. O processo de produção assemelha-se ao sistema antigo de taipa de pilão, formando, assim, painéis inteiriços, sem juntas horizontais.
- e) Fundações: especificamente para fundações diretas de pequeno porte, onde o solo-cimento compactado acaba sendo equivalente ao das alvenarias de embasamento ou alicerces, desde que não seja submetido a movimentos diferenciais, como ocorre em solos compressíveis ou expansivos.

Observa-se que a principal aplicação do solo-cimento tem sido em habitações populares. Nele há grande quantidade de solo em sua constituição, material em abundância na natureza que pode ser extraído no próprio local de execução da obra ou próximo a ela (ANTUNES, 2008), caso possua as características pré-estabelecidas pela Norma Brasileira - NBR 13553: ABNT, 2012. O cimento Portland, material presente em pequena quantidade, tem por finalidade adicionar ao solo as mínimas características necessárias de estabilidade e resistência através do surgimento de vínculos de coesão quando em contato com os grãos (ANTUNES, 2008).

2.4.2 Materiais constituintes do solo-cimento

Como já descrito anteriormente, o solo-cimento é constituído por uma mistura de três componentes: solo, cimento e água. Assim, na sequência, apresenta-se a descrição dos mesmos.

2.4.2.1 Solo

De acordo com a FUNTAC (1999), Isaia (2007b) e Soma (2012), o solo é o material que entra em maior proporção na mistura para a confecção de elementos de solo-cimento, portanto, deve-se ter cuidado na sua escolha, já que o mesmo deve permitir o uso de menor quantidade possível de cimento Portland, diminuindo, assim, o custo no processo de fabricação.

Neste sentido, objetivando a redução no custo da construção de habitações populares, recomenda-se a utilização de solo que se encontra no próprio local em que a obra será executada, ou o mais próximo possível. Ademais, é necessário usar um solo adequado. O solo arenoso, que tem em sua constituição uma maior parte de areia e menor parcela de argila, é um solo adequado. A fração de argila é necessária na composição do solo para que seja alcançada a coesão e resistência, propriedades iniciais suficientes para a desforma imediata. Contudo, ela não deve predominar na composição, pois o solo argiloso requer maior quantidade de cimento para sua estabilização, levando a um maior custo na execução. Além de aumentar o custo, o solo argiloso é difícil de ser adensado e misturado (FREIRE, 2003).

Assim, segundo a NBR 13553 (ABNT, 2012), o solo adequado para esse tipo de aplicação é o solo arenoso que possui as seguintes características:

- a) Cem por cento (100%) passante na peneira (#) 4,8 mm (nº 4).
- b) Entre 15% e 50% de material passante na peneira de # 0,075 mm (nº 200).
- c) Limite de liquidez (LL) menor ou igual a 45%.
- d) Índice de Plasticidade (IP) menor ou igual a 18%.

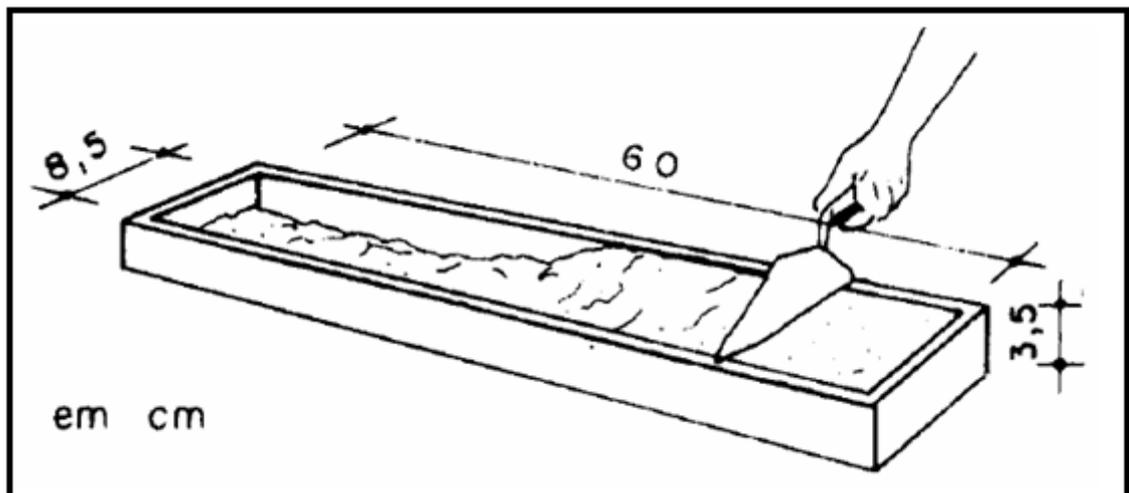
Nesta perspectiva, Antunes (2008) ainda ressalta que em caso de não existência de um solo adequado próximo ao local da obra, é possível a mistura de solos. Por exemplo, caso haja um solo no local da obra, ou próximo dela, composto em sua maior parte por argila, é possível adicionar areia, obtendo-se, assim, o solo arenoso propício da mistura. Porém, Soma (2012) afirma que os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45 e 50%. Somente os solos que contêm matéria orgânica em sua composição (solo de cor preta) não podem ser utilizados.

Deste modo, é importante ressaltar a necessidade de cuidados quanto a quantidade de matéria orgânica presente no solo, tornando-se necessária a verificação visual da existência, ou não, de substâncias orgânicas presentes no mesmo, processo de fácil execução. No entanto, por análise visual, torna-se difícil a percepção da constituição do solo, em termos de

quantidades de areia e argila. O ideal é que sejam feitos ensaios, em laboratório, para determinação da sua granulometria e seus limites de consistência. Mas, em contrapartida, também existem testes práticos para avaliar se o tipo de solo é adequado para a produção de solo-cimento. Um exemplo de teste prático é o “Teste de Caixa”, de execução muito simples, descrito a seguir (FUNTAC, 1999; FREIRE, 2003; ANTUNES, 2008).

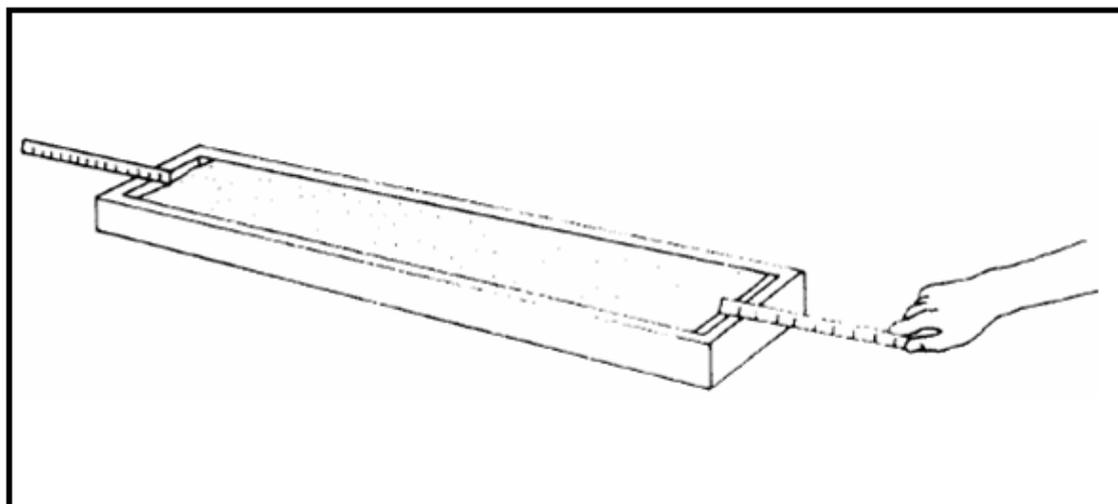
- Teste da Caixa: Cabe observar que este ensaio, não normalizado. Ele é realizado com o auxílio de uma caixa de madeira (60 x 8,5 x 3,5cm) e uma colher de pedreiro (Figura 10). Retira-se uma amostra de aproximadamente 4 Kg do solo que será avaliado, tomando o cuidado de retirar a camada superficial que contém matéria orgânica. Ao solo já peneirado (em peneira com abertura de 4 a 6mm) é acrescentada, aos poucos, água, até que comece a grudar na colher, ficando com aparência semelhante a uma argamassa de assentamento de tijolos. Alcançada essa umidade, o solo é posto na caixa, previamente untada, enchendo-a até a borda. Logo após são aplicados golpes à caixa para que sejam eliminados os vazios presentes na massa. A caixa é guardada em local protegido do sol e da chuva por sete dias. Decorrido esse tempo, efetuam-se as leituras de retração no sentido longitudinal da caixa. A soma das duas leituras dos dois lados não deve ultrapassar 2,0cm e nela não deve haver trincas (Figura 11). Na verificação da ausência destes, o solo é adequado para utilização em mistura de solo-cimento, caso contrário deve ser adicionado areia, até obtenção das características desejadas.

Figura 10 - Colocação para o solo no teste de caixa



Fonte: FUNTAC (1999, não paginado)

Figura 11 – Verificação da retração do solo



Fonte: FUNTAC (1999, não paginado)

2.4.2.2 Cimento

De acordo com Freire (2003), o cimento é um pó fino que, ao entrar em contato com a água, tem a propriedade de unir firmemente diversos tipos de materiais de construção, atuando semelhantemente a uma cola. Segundo o mesmo autor, as matérias primas do cimento são argila, calcário, gesso e outros materiais denominados adições. Antunes (2008) ainda complementa ao afirmar que o Cimento Portland é um aglomerante hidráulico com origem na moagem do clínquer. O mesmo consiste, essencialmente, de silicatos de cálcio hidráulico, onde a ele são adicionadas uma ou mais formas de sulfato de cálcio durante a operação.

No mercado existem vários tipos de cimento e a diferença entre eles esta na composição dos mesmos. Pode-se supor que um tipo de cimento recomendável para compor misturas de solo-cimento seria o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI), pela característica de produção de solo-cimento, que costuma prever desforma imediata, seja na pré-moldagem de elementos de alvenaria, seja na construção de paredes monolíticas (ANTUNES, 2008).

Porém, tendo em vista que o CP V ARI tem um custo mais elevado, Isaia (2007b), Antunes (2008) e Soma (2012) afirmam que outros cimentos poderão ser utilizados. Sendo assim, os cimentos Portland compostos (CP II) são os mais utilizados por serem facilmente encontrados no mercado nacional.

2.4.2.3 Água

No entendimento da FUNTAC (1999), Freire (2003), Antunes (2008) e Soma (2012), a água a ser utilizada no preparo do tijolo solo-cimento deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento, tais como: sais, sulfatos, humo, álcalis, óleos, galhos, folhas e raízes. Antunes (2008) ainda esclarece que o excesso de matéria orgânica, por exemplo, seja por forma de partes vegetais ou humos, provoca retardo das reações que determinam a pega e o endurecimento do cimento Portland. É necessário, ainda, que a quantidade de água da mistura esteja correta, pois o solo-cimento compactado com muita água perde a resistência, podendo até trincar e, se a mistura possuir pouca água, a compactação torna-se difícil e também haverá perda de resistência.

2.4.3 Tijolos de solo-cimento

Na concepção de Isaia (2007b) e Soma (2012), o tijolo de solo-cimento pode ser nomeado também como “tijolo ecológico”. Isto deve - se ao fato do mesmo não necessitar do processo de queima, como ocorre no processo produtivo dos tijolos cerâmicos, logo, não proporcionam agressão ao ecossistema. Com isso, surge um material alternativo, obtido pela mistura homogênea de solo, água e um pouco de cimento Portland. A massa compactada endurece com o tempo e em poucos dias ganha consistência e durabilidade suficientes para diversas aplicações na construção civil.

Da fabricação do mesmo resulta um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e, como já dito, boa durabilidade. O solo é o principal componente da mistura e o cimento entra em quantidade que varia de 5% a 10% do peso do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades de resistência desejadas para o composto (SOMA, 2012). Neste sentido, a FUNTAC (1999) deixa evidente o fato de que a resistência será tanto mais elevada quanto maior for a quantidade de cimento empregado na mistura; esta, no entanto, deve ser limitada a um teor ótimo que confira ao material curado a qualidade necessária, sem o aumento do custo de fabricação. Segundo a NBR 8491 (ABNT 2012), a resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa aos sete dias de idade, e a absorção média deve ser inferior a 20%.

Com base em FUNTAC (1999), Grande (2003), Cordeiro (2006) e Soma (2012), podem ser descritas as seguintes vantagens do uso dos tijolos de solo-cimento:

- a) Durabilidade e segurança estrutural.
- b) Podem, em geral, ser produzidos com o próprio solo local e no canteiro de obras, reduzindo ou evitando o custo de transporte.
- c) Uso de resíduos em sua composição, tornando-se uma alternativa ecológica. Podem ser incorporados agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais tais como sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto fornos, finos de serrarias e outros.
- d) A aplicação do chapisco, emboço e reboco são dispensáveis, devido ao acabamento liso das paredes monolíticas, em virtude da perfeição das faces prensadas e a impermeabilidade do material, necessitando aplicar uma simples pintura com tinta à base de cimento, aumentando mais a sua impermeabilidade, assim como o aspecto visual, conforto e higiene.
- e) Eficiência construtiva em casos de sistema modular, pelo qual os blocos são somente encaixados ou assentados com pouca quantidade de argamassa. Além disso, nesses casos, os blocos são produzidos com furos internos que permitem a passagem de tubulações e instalações hidráulicas e elétricas sem a necessidade de cortes ou quebras.
- f) Podem dispensar o uso de revestimento, desde que protegidos da ação direta da água, sendo, portanto, recomendáveis para paredes com tijolos à vista.
- g) Por serem fabricados a partir de prensas manuais ou automatizadas (hidráulicas), não consomem combustível na fabricação, por dispensar a queima, contribuindo ao meio ambiente.
- h) Utilizam basicamente mão-de-obra não especializada.
- i) Ao contrário dos tijolos de argila queimada, que têm de ser jogados fora quando quebram, os de solo-cimento podem ser moídos e reaproveitados.

Vários fabricantes vêm desenvolvendo prensas hidráulicas e manuais para a fabricação de diversos tipos de tijolos e blocos de solo-cimento compactados (Grande, 2003). Assim, Isaia (2007b) expõe que existem no mercado empresas que oferecem diversos modelos de prensas para a fabricação dos tijolos de solo-cimento. Algumas prensas fabricam até sete tipos diferentes de tijolos, para isso, bastando apenas trocar seus moldes. O aprimoramento dos

equipamentos vem contribuindo para a racionalização das técnicas, aumentando a qualidade e diminuindo o custo dos tijolos.

Para a produção de pequenos volumes, é usada a prensa manual, com baixo custo e produção na ordem de 1500 tijolos maciços por dia. São prensas pequenas, que pesam menos de 150 kg e não produzem blocos. No entanto, existem no mercado as prensas hidráulicas, que podem produzir tanto os tijolos, quanto blocos de solo-cimento. Elas apresentam grande volume de produção, mas o investimento inicial é elevado e apenas se justifica em obras de grande porte (FREIRE, 2003).

2.4.4 Processo manual de fabricação do tijolo solo-cimento

FUNTAC (1999), Freire (2003) e Soma (2012) descrevem em suas obras o processo de preparo do solo-cimento. Freire (2003) e Soma (2012) afirmam que as obras de pequeno porte vêm utilizando um traço de 1:12 (uma parte de cimento para 12 partes de solo). Em obras de grande porte, o solo-cimento chega a ser produzido em usinas centrais de mistura. Em contrapartida, nas obras de pequeno porte, a mistura é manual, pois a mistura em betoneira é difícil, já que o material possui muita liga. Partindo dessas premissas, e com base nos autores anteriormente citados, seguem nos itens 2.4.4.1, 2.4.4.2 e 2.4.4.3, a descrição da mistura manual do solo-cimento, do teste prático da verificação da umidade e da produção manual, respectivamente.

2.4.4.1 Mistura manual do solo-cimento

O solo a ser utilizado na mistura de solo-cimento deve estar com baixa umidade, recomendando-se que a armazenagem do mesmo seja feita em local adequado a esse propósito. É também necessário que o solo retirado das jazidas seja preparado, desagregando-se os torrões e eliminando o material contido na peneira nº 4,8mm. Portanto o solo deve estar seco, peneirado e isento de matéria orgânica.

Existem solos que apresentam grande quantidade de partículas graúdas, neste caso, costuma-se aplicar o destorroador, que tem como finalidade reduzir o tamanho dos grãos. Sugere-se que, quando o solo apresentar mais de 50% de material retido na peneira ABNT nº 4,8mm, utiliza-se primeiramente o destorroador seguindo ao peneirador.

A quantidade de solo e cimento a serem misturados podem ser medidas em volume para maior facilidade de operação. Normalmente, a quantidade de cimento e solo é feita em recipientes como baldes, padiolas ou outros elementos de fácil obtenção.

Inicialmente, pode-se adotar os traços 1: 12, recomendados na por Freire (2003), conforme mostra a ilustração na Figura 12.

Figura 12 – Recomendação de traço 1: 12 (cimento: solo)



Fonte: Freire (2003, p. 101)

As etapas posteriores consistem em:

- esparramar os 12 baldes de solo sobre uma superfície lisa e impermeável, numa camada com 20 a 30cm de altura;
- adicionar um balde de cimento sobre o solo de modo a cobrir toda a porção e com uma enxada, homogeneizar a mistura até atingir uma só coloração;
- espalhar novamente a mistura, adicionando água com o auxílio de um regador, até atingir a umidade ideal de moldagem, conferida pelo processo prático (ver item 2.4.4.2);
- colocar a mistura no silo da máquina para a confecção dos tijolos.

O tempo máximo de pega é estabelecido para cada traço de mistura em função do início e fim de “pega” do cimento. Assim, logo após a prensagem, os tijolos produzidos são expelidos pela prensa e então disposto sobre “pallets” para serem curados, processo de

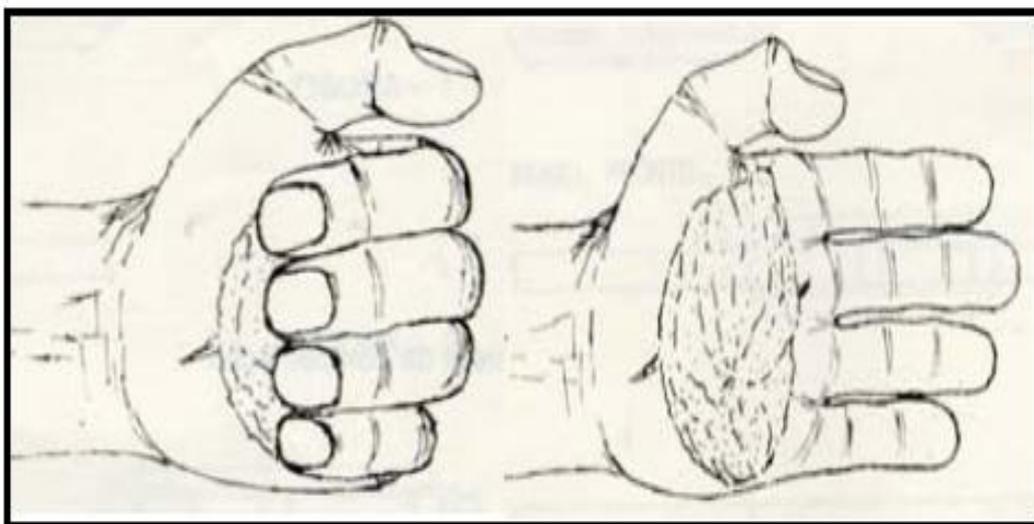
descanso do tijolo. Não existindo condições de cura em local coberto, deve-se proteger a pilha com lona ou material similar.

2.4.4.2 Processo prático da verificação de umidade

Para a confecção dos tijolos solo-cimento é necessária uma umidade adequada, pois, sem este controle, os mesmos poderão ter problemas referentes à resistência adequada, serão e quebradiços e não trabalháveis. Assim, a verificação da umidade da mistura pode ser realizada com razoável precisão a partir do teste prático descrito a seguir:

- a) Enche-se a mão com a mistura (Figura 13) e, aperta-se “energicamente” entre os dedos e a palma da mão, repetidas vezes. Após, ao abrir a mão, esta “massa” deverá ter a marca deixada pelos dedos. Se não apresentar a marca, é sinal de que há falta de água na mistura. Assim, coloca-se aos poucos mais água na mistura e repete-se o teste até aparecer a marca dos dedos.

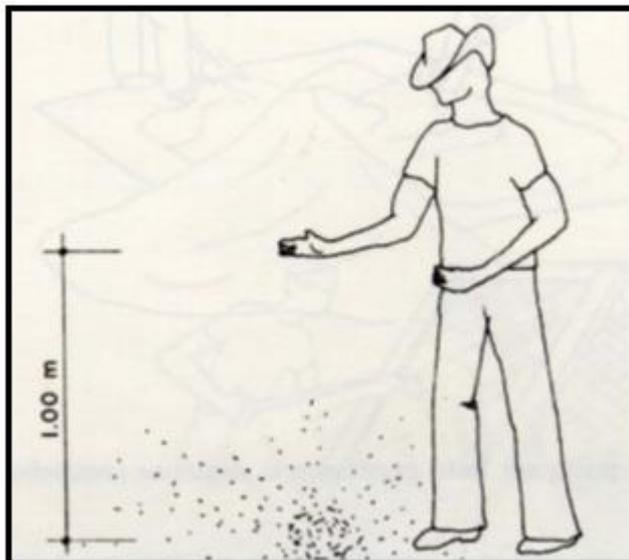
Figura 13 – Verificação da umidade da mistura



Fonte: FUNTAC (1999, não paginado)

- b) Deixa-se cair a “massa” de uma altura aproximada de um metro, sobre uma superfície dura, onde a massa deverá esfarelar-se ao chocar-se com a superfície (Figura 14). Se isso não ocorrer, a mistura estará muito úmida. Neste caso, esparrama-se e revolve-se a mistura, para que o excesso de água evapore. Repete-se o teste, deixando o bolo cair novamente, para verificar se a quantidade de água chegou ao ponto correto.

Figura 14 – Verificação da umidade da Mistura



Fonte: FUNTAC (1999, não paginado)

2.4.4.3 Produção manual dos tijolos de solo-cimento

O procedimento de produção manual pode ser geralmente relatado como:

- 1) abre-se a tampa da forma da prensa manual e coloca-se dentro da mesma a mistura de solo-cimento;
- 2) fecha-se a tampa da forma do maquinário, nivelando a mistura e retirando o excesso;
- 3) move-se a alavanca no sentido de compactação da mistura, até o final de seu curso;
- 4) após a prensagem, retorna-se a alavanca à posição inicial. A seguir, abre-se a tampa da forma e aciona-se novamente a alavanca, no sentido de compactação. Isso irá empurrar os tijolos para fora da forma (etapa da desforma);
- 5) depois da desforma, os tijolos de solo-cimento podem ser retirados da prensa, porém com cuidado.

Após a confecção dos tijolos de solo-cimento, os mesmos devem ser imediatamente empilhados, para melhor aproveitamento da área de trabalho. As pilhas não devem ter mais de 1,5 m. É importante que nos três primeiros dias de cura haja pulverização de água sobre as pilhas de tijolos, mantendo-os úmidos. Não é recomendável produzi-los expostos ao vento ou ao sol, uma vez que isso provoca a evaporação muito rápida da água, condenando sua resistência. A cura de sete dias é indispensável para o transporte e utilização dos tijolos.

2.5 Considerações finais

Com tudo descrito até agora, vale à pena ainda destacar as diferenças entre tijolos de barro cozido (cerâmicos) e de solo-cimento, com relação ao componente dos mesmos. Segundo Grande (2003), nos produtos cerâmicos, a estrutura dos grãos minerais formados durante a queima é a grande responsável pelas propriedades mecânicas do elemento. Dessa forma, resulta-se um material leve, resistente e poroso. O tijolo cerâmico, no processo de queima, tem a área específica das partículas reduzida, diminuindo o volume aparente e aumentando a resistência mecânica do elemento. O resultado de diversos fenômenos físicos - químicos que ocorrem durante a queima é consequência da aproximação e contato das partículas, reduzindo a porosidade.

O mesmo autor citado anteriormente expõe que em contrapartida a qualidade do tijolo de solo-cimento prensado é função do empacotamento dos grãos do solo depois de compactado, a coesão é fruto da adição de cimento (efeito químico). Isso resulta em um material de baixa porosidade e alta densidade. O equipamento utilizado para a moldagem do tijolo desempenha papel fundamental, pois o mesmo condiciona a taxa de compactação do material e as características produtivas em si.

3 METODOLOGIA

Um aspecto importante a ser ressaltado é o fato de que para este estudo, optou-se por analisar apenas tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento, ambos maciços, utilizados em construções de alvenarias convencionais, em função da disponibilidade de fábricas na região do estudo (noroeste do Rio Grande do Sul). Portanto, não são objetos deste estudo os tijolos cerâmicos vazados e os tijolos de solo-cimento modulares vazados.

Os blocos de concreto também não se enquadram nessa ideia, por serem também vazados e empregados em obras de alvenaria estrutural. Existe um grupo de blocos de concreto maciços, mas os mesmos são aproveitados em pavimentações (ISAIA, 2007b) e deste modo, deixam de ser analisados neste estudo.

3.1 Procedimentos metodológicos

Para a presente pesquisa, os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas distintas, descritas a seguir entre os itens 3.1.1 e 3.1.3.

3.1.1 Visitas

Para a execução deste estudo foram primeiramente realizadas visitas a uma olaria (Figura 15a) e a uma fábrica de tijolos de solo-cimento (Figura 15b). Documentou-se assim, a partir de fotos, os distintos processos de fabricação, para posterior análise dos mesmos sob ponto de vista ambiental.

Figura 15 - Visita à olaria e à fábrica de tijolos de solo-cimento



Fonte: Autoria própria

3.1.2 Verificação das dimensões dos tijolos e custos

No dimensionamento, segundo a NBR 7170 (ABNT 1983) os tijolos maciços cerâmicos devem possuir a forma de um paralelepípedo-retângulo, tendo suas dimensões nominais recomendadas, conforme a Tabela 2. As tolerâncias máximas de fabricação para os tijolos comuns devem ser de 3mm para mais ou para menos, nas três dimensões.

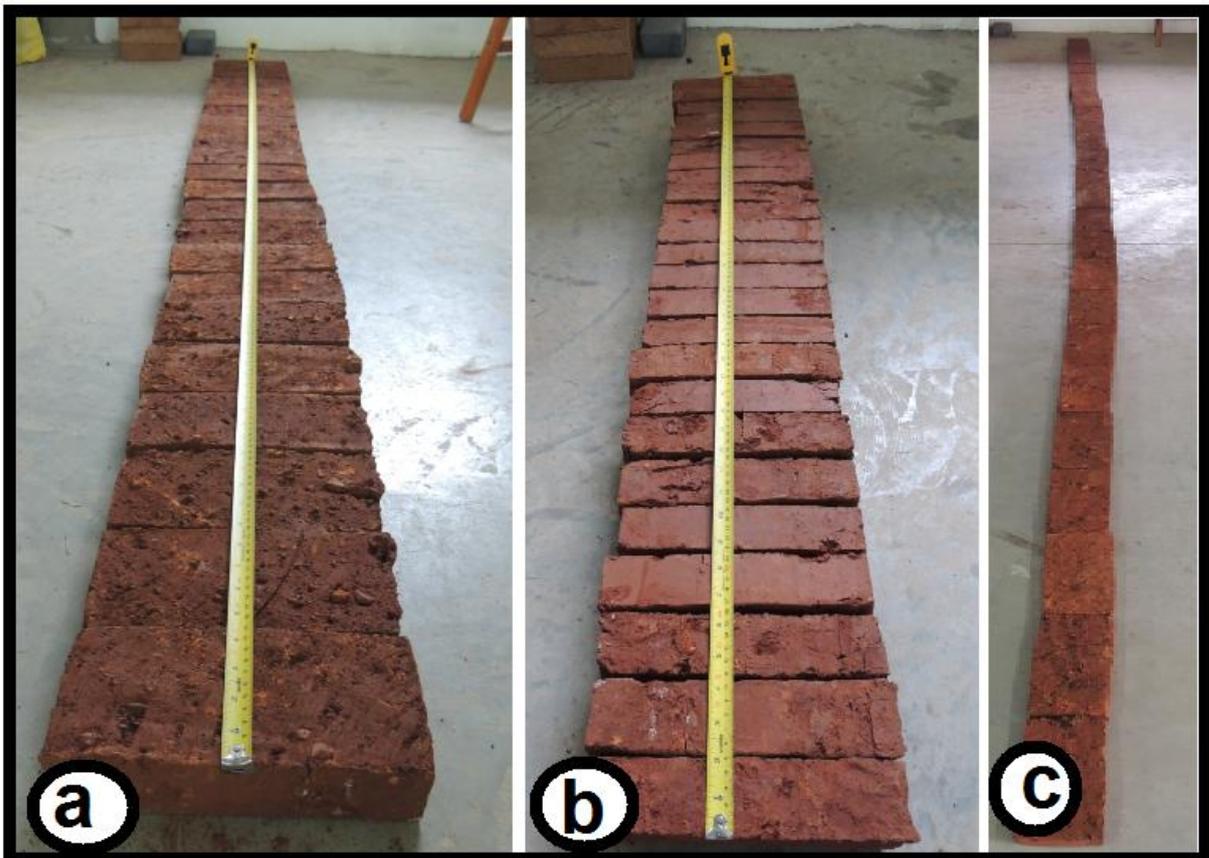
Tabela 2 – Dimensões nominais dos tijolos cerâmicos (mm)

Comprimento	Largura	Altura
190	90	57
190	90	90

Fonte: NBR 7170 (ABNT 1983)

Para a determinação das dimensões dos tijolos cerâmicos, segundo a norma, é necessário medir 24 tijolos, colocados lado a lado, conforme a Figura 16, e posteriormente dividir os resultados das medições por 24, para assim obter a dimensão real dos tijolos.

Figura 16 – Determinação das dimensões reais: a) largura; b) altura; c) comprimento



Fonte: Autoria própria

Já para o caso dos tijolos maciços de solo-cimento, a NBR 8491 (ABNT 2012) especifica que as dimensões nominais que os tijolos devem atender são constantes, e podem apresentar dimensões diferentes das descritas na Tabela 3, desde que tenham altura menor que sua largura. As tolerâncias dimensionais para os tijolos ecológicos são de mais ou menos 1mm para cada dimensão.

Tabela 3 – Dimensões nominais dos tijolos de solo-cimento (mm)

Comprimento	Largura	Altura
200	100	50
240	120	70

Fonte: NBR 8491 (ABNT 2012)

Com a verificação das dimensões, tornou-se possível também realizar o cálculo do custo do metro quadrado de ambas as fábricas. O custo fornecido nas fábricas, foi de R\$320,00 reais o milheiro dos tijolos de solo-cimento e R\$310,00 o milheiro dos tijolos cerâmicos. Para ambos os casos desconsidera-se o frete.

3.1.3 Determinação da resistência à compressão e da absorção de água

Para determinar a resistência à compressão dos tijolos e a absorção de água, foi fundamental o entendimento das seguintes normas da ABNT:

- NBR 7170 (1983) - tijolo maciço cerâmico para alvenaria;
- NBR 6460 (1983) – tijolo maciço cerâmico para alvenaria (verificação da resistência à compressão);
- NBR 8491 (2012) – tijolo de solo-cimento (requisitos);
- NBR 8492 (2012) – tijolo de solo-cimento (análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção d'água – Método de ensaio).

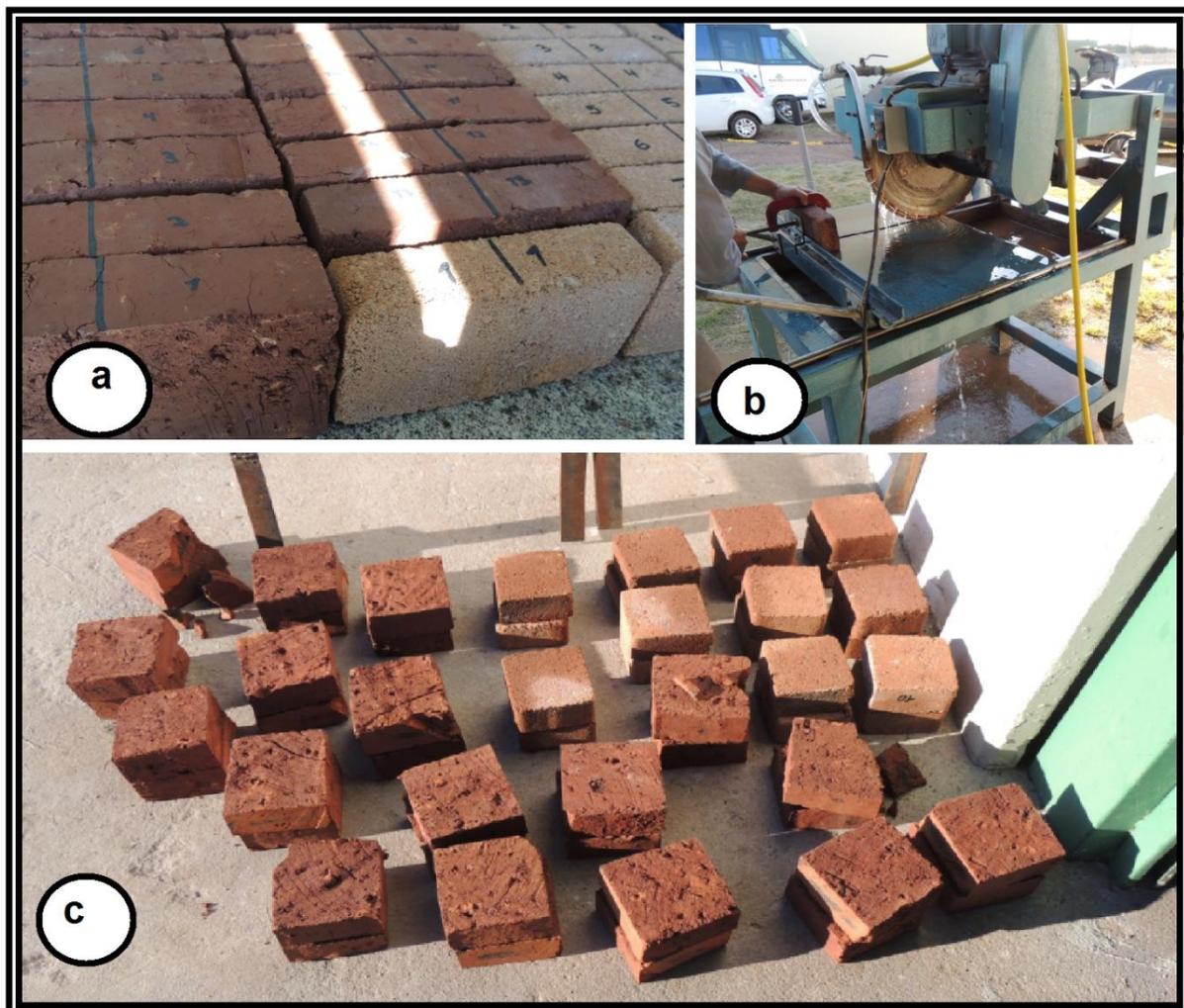
Com base nas mesmas foi possível executar os ensaios a serem descritos nos itens 3.1.3.1 e 3.1.3.2. Vale ainda ressaltar que com base na NBR 8491 (2012) tornou-se necessário utilizar no mínimo sete tijolos para os ensaios de compressão (onde foram utilizados dez) e três tijolos para os ensaios de absorção. Para os tijolos cerâmicos a NBR 7170 (1983) especifica ensaiar treze tijolos para verificação da resistência à compressão, entretanto a norma não menciona o ensaio de absorção. Optou-se assim por executar também três ensaios

de absorção para os tijolos da olaria, para obter deste modo um comparativo com os tijolos de solo-cimento.

3.1.3.1 Resistência à compressão

Foram ensaiados ao todo vinte e três tijolos, sendo treze cerâmicos e dez de solo-cimento. O processo do ensaio foi o mesmo para ambos os tipos de tijolos. A primeira etapa do ensaio tratou-se do corte dos tijolos. Antes de cortados, tijolos foram marcados (Figura 17a) e em seguida as amostras foram fatiadas ao meio, perpendicularmente a sua maior dimensão (Figura 17b). Com a marcação e o cuidado no manuseio do corte dos tijolos, obteve-se maior controle sobre os mesmos (Figura 17c).

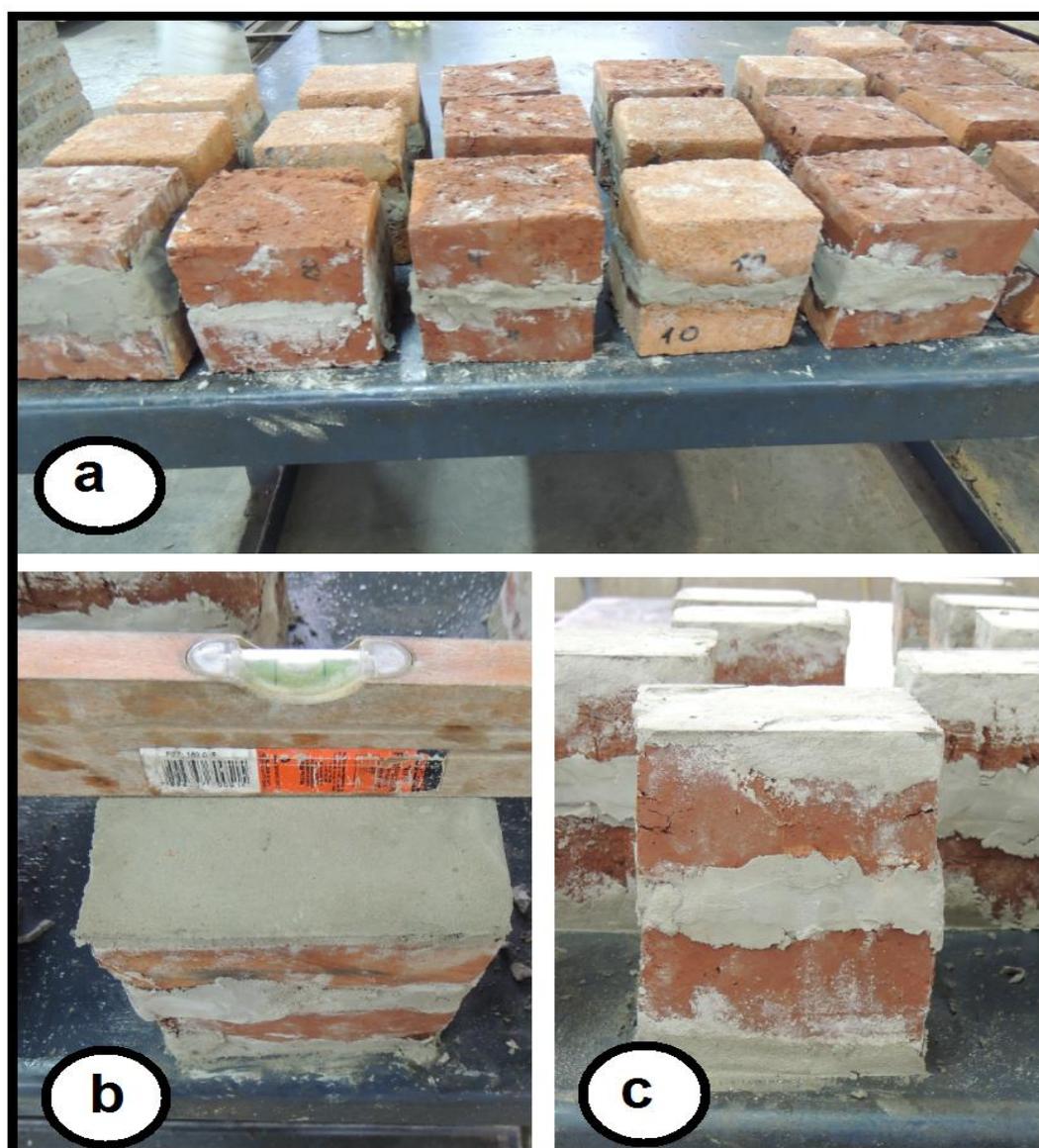
Figura 17 – Corte dos tijolos



Fonte: Autoria própria

Depois de cortados, os tijolos foram superpostos por suas duas faces maiores ligando-as com uma camada fina de argamassa, formando prismas (Figura 18a). Como o traço da argamassa não é especificado em norma, optou-se por um traço 1:1 (cimento: areia). Quando já secos (cerca de 24h depois), os prismas foram capeados com a argamassa, com a finalidade de se obter o melhor acabamento possível. Na a camada superior do capeamento, teve-se o cuidado de analisar a planicidade do prisma utilizando o nível de bolha (Figura 18b). Os corpos de prova precisam ser os mais planos possíveis para obter bons resultados na hora da prensagem (Figura 18c) e a dimensão do capeamento não deve ser superior a 3mm.

Figura 18 – Montagem dos prismas (corpos de prova)



Fonte: Autoria própria

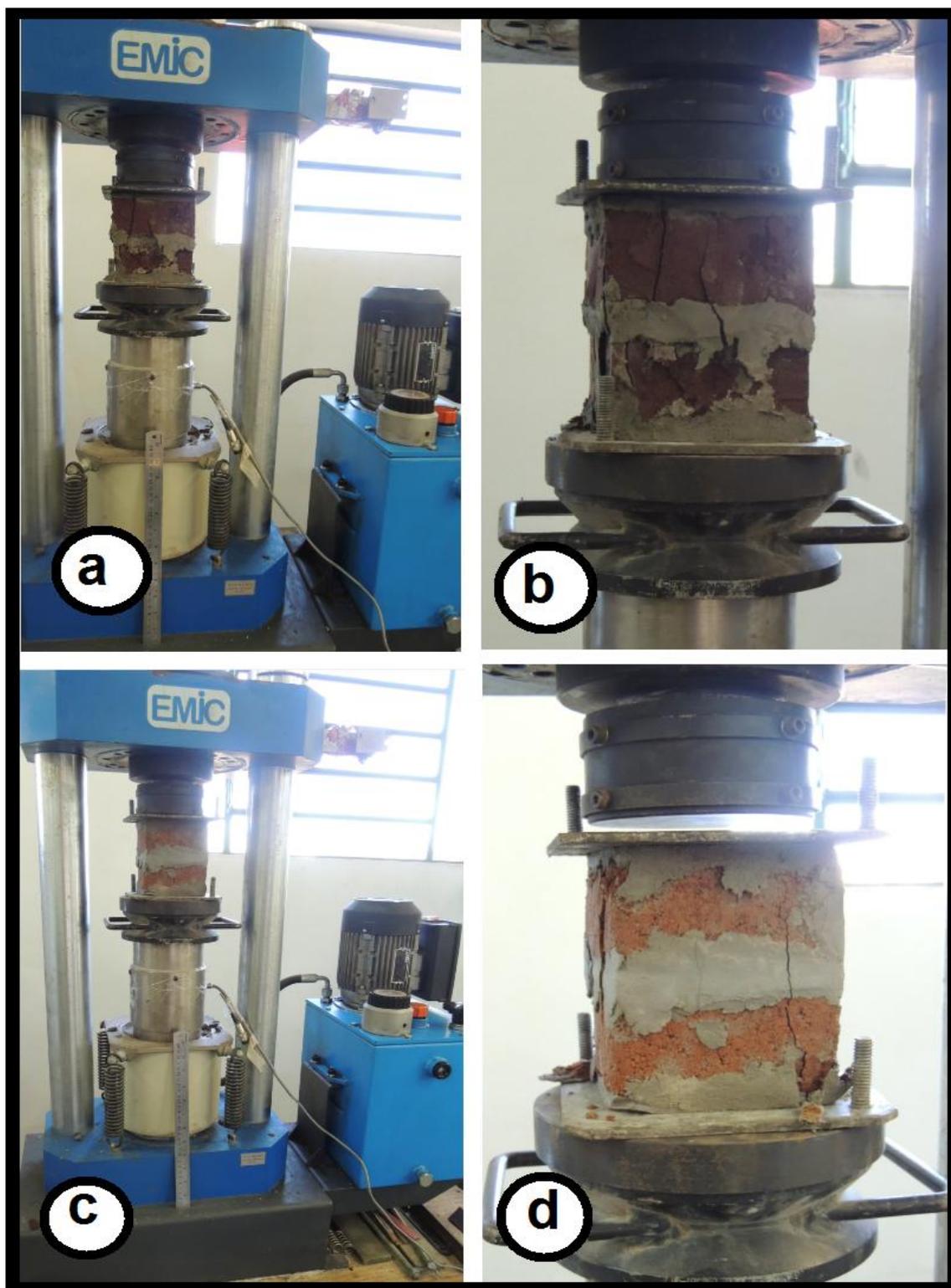
Após o endurecimento da argamassa dos prismas (sendo sete dias de cura), os corpos de prova foram mais uma vez numerados e em seguida imersos em água durante 24h, como pode ser visto na Figura 19. Passadas às 24h, os prismas foram retirados da água e antes do ensaio enxugados superficialmente, procedimento especificado nas normas NBR 6460 (ABNT 1983) e NBR 8492 (ABNT 2012), para execução de ensaio de resistência à compressão dos tijolos. As dimensões foram medidas com precisão de 1mm. Os corpos de prova foram colocados diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de maneira a ficarem centrados em relação a ele. Por fim, elevou-se a carga até ocorrer a ruptura do prisma, tanto nos tijolos cerâmicos (Figura 20a e 20b) quanto nos de solo-cimento (Figura 20c e 20d).

Figura 19 – Imersão dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria

Figura 20 – Ensaio de resistência à compressão: tijolos cerâmicos (“a” e “b”); tijolos de solo-cimento (“c” e “d”)

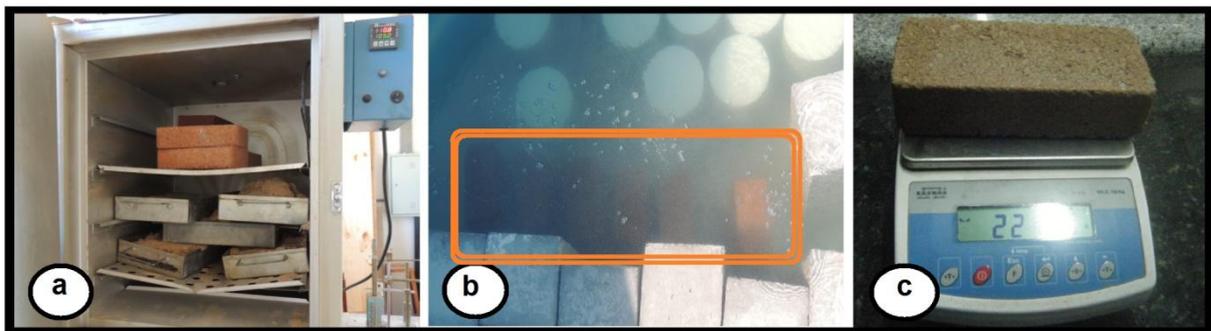


Fonte: Autoria própria

3.1.3.2 Ensaio de absorção de água

Para o ensaio de absorção da água, foram utilizados ao todo seis tijolos, sendo três de cada fábrica. Para a análise da absorção, os tijolos foram primeiramente secos em estufa a uma temperatura entre 105°C e 110°C (Figura 21a), por aproximadamente 24h, para obter a constância de massa (pesagens feitas após os tijolos atingirem a temperatura ambiente), obtendo-se assim a massa M_1 (em g), do tijolo seco. Após a primeira pesagem, os tijolos foram imersos em tanque durante 24h (Figura 21b). Depois de retirados da água, foram enxugados superficialmente e pesados antes de decorrer três minutos. Com isso obteve-se a massa do tijolo saturado com superfície seca M_2 (em g), como pode ser observado na Figura 21c.

Figura 21 – Ensaio de absorção



Fonte: Autoria própria

A equação utilizada para determinar a absorção de água dos tijolos foi:

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Onde:

M_1 = massa do tijolo seco em estufa

M_2 = massa do tijolo saturado

A = absorção de água (em porcentagem)

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Comparação entre os processos de fabricação

Com base nas visitas, pode-se produzir o seguinte esquema comparativo entre o processo de fabricação da olaria e da fábrica de tijolos de solo-cimento, descrito entre os itens 4.1.1 e 4.1.3:

4.1.1 Preparação da mistura

Para os tijolos cerâmicos, a argila é extraída nos arredores da olaria. Na extração encontram-se três camadas distintas de solo (Figura 22a). Como já mencionado no item 2.3.2.1, a mistura de distintas argilas é um processo muito utilizado, tendo como finalidade corrigir as deficiências existentes na argila proveniente da jazida. Uma argila muito dura tende a retrair e deformar, tornando-se assim comum a mistura de outros elementos, nesse caso, cerca de 5% de serragem (Figura 22b), o que ajuda a baixar a proporção de grãos finos e resulta em uma boa plasticidade para a produção dos tijolos.

Figura 22 - Preparação da mistura para tijolos cerâmicos



Fonte: Autoria própria

No que se refere aos tijolos de solo-cimento, a empresa em estudo não possui área de extração própria. Assim, a extração de terra ocorre em locais distintos, dependendo da disponibilidade e da característica da mesma, que deve ser livre de partículas orgânicas. Como descrito no item 2.4.2.1, para os tijolos de solo-cimento, o solo arenoso é o mais adequado, pois com o mesmo são necessárias menores quantidades de cimento na mistura. O noroeste do estado do Rio Grande do Sul tem como característica um solo de terra vermelha (argilosa), o que se faz necessária a constituição do traço com uso de areia, proporcionando a diminuição da adição de cimento. Em busca deste efeito, a fábrica também recorre ao pó de brita (Figura 23). Pelo motivo dos lotes não possuírem sempre o mesmo solo em sua constituição, os traços variam constantemente, mas os ingredientes e as quantidades são constantes (solo, água, cimento, areia e pó de brita).

Figura 23 – Elementos de mistura dos tijolos de solo-cimento



Fonte: Autoria própria

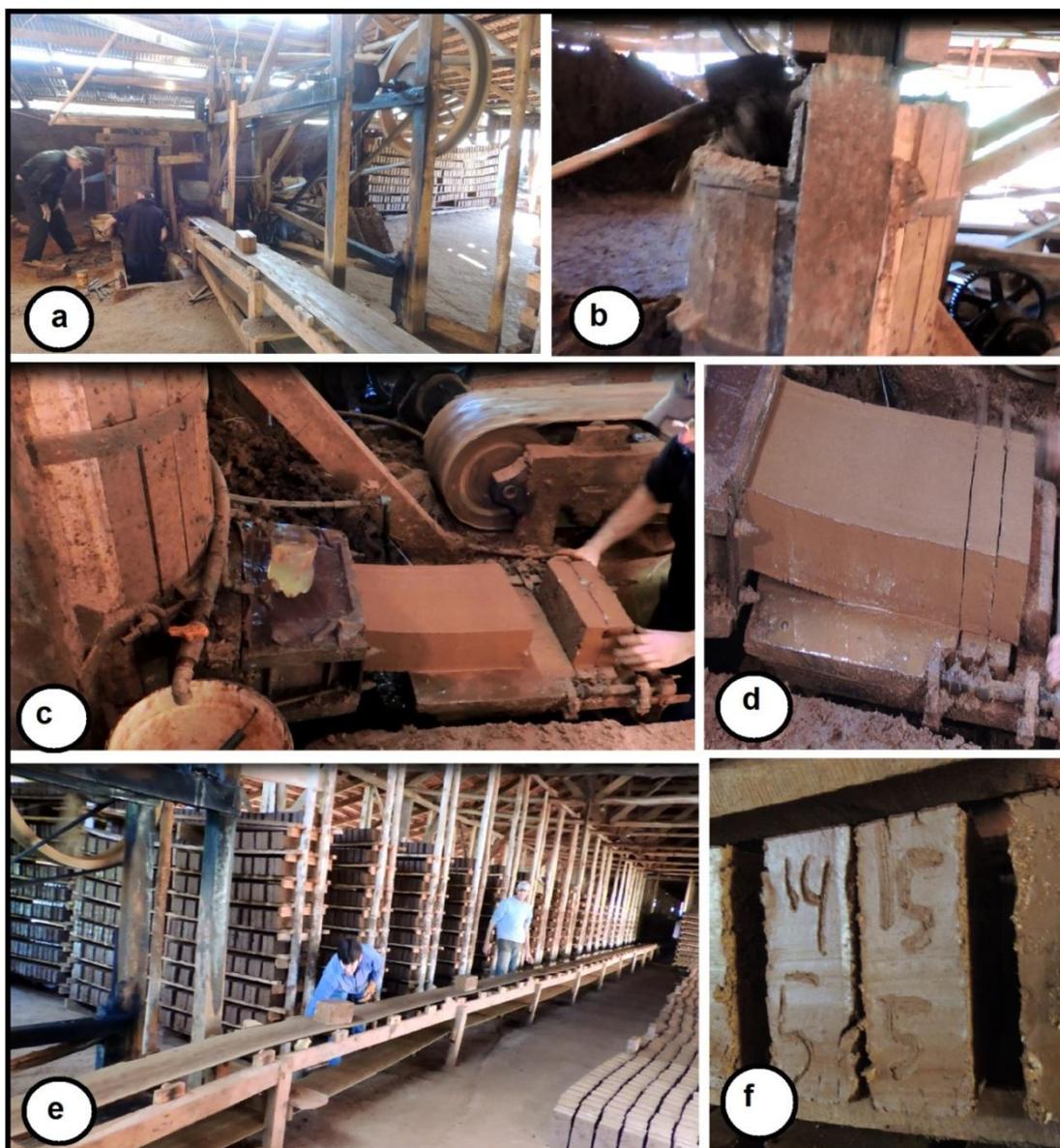
4.1.2 Moldagem

Como pode ser observado na Figura 24 (“a” e “b”), o tijolo cerâmico é moldado por extrusão, em uma máquina conhecida como maromba, que tem a função de retirar o excesso

de ar da mistura e conformá-la, passando a mesma por uma boquilha (Figura 24c), que funciona como molde para os tijolos. A mistura é extrudada de forma contínua, devendo ser cortada nas dimensões previstas para os tijolos (Figura 24d). De forma empírica, quando notam-se torrões em meio a extrusão, essa parcela da massa é descartada.

No caso da olaria analisada, os tijolos são cortados de forma manual. E em seguida, colocados sobre uma esteira, a partir da qual são conduzidos até as prateleiras, onde são posicionados para a diminuição de sua umidade (Figura 24e) e numerados para controles dos dias de secagem (Figura 24f).

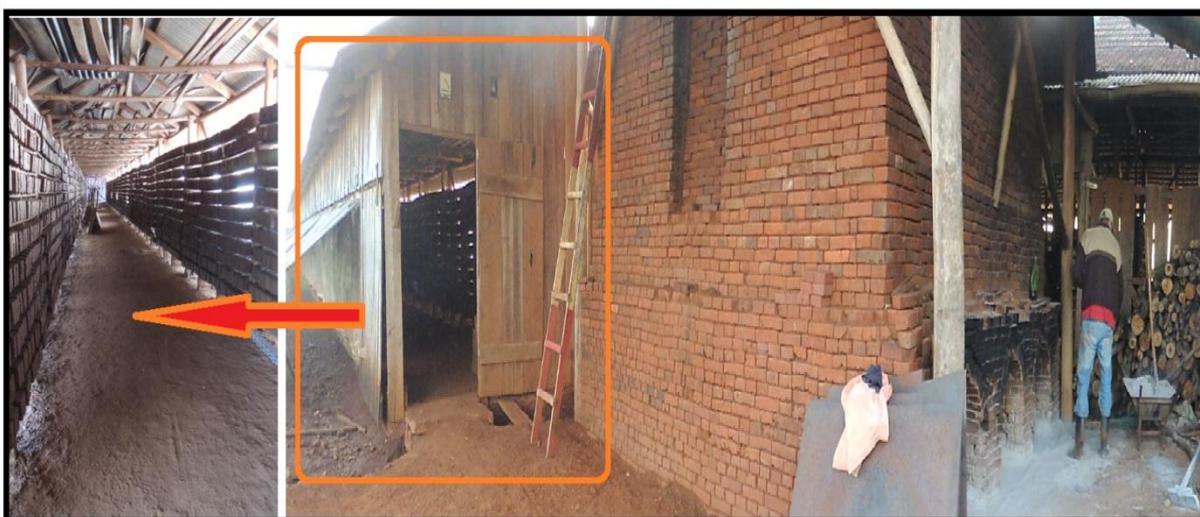
Figura 24 – Esquema do processo de moldagem dos tijolos cerâmicos



Fonte: Autoria própria

As argilas possuem um teor de umidade elevado que deve ser retirado lentamente dos tijolos, de modo a impedir o aparecimento de deformações ou fissuras. Na fábrica de tijolos cerâmicos, a secagem ocorre de forma natural, onde os tijolos são estocados em prateleiras, em locais protegidos da chuva. O tempo necessário para a secagem natural varia em função das condições climáticas. Segundo o dono da olaria, no verão são necessários de 25 a 30 dias, e no inverno 45 dias. Mas a fábrica também possui um corredor estreito, com mais insolação, onde o tempo de secagem diminui para 8 a 10 dias (Figura 25).

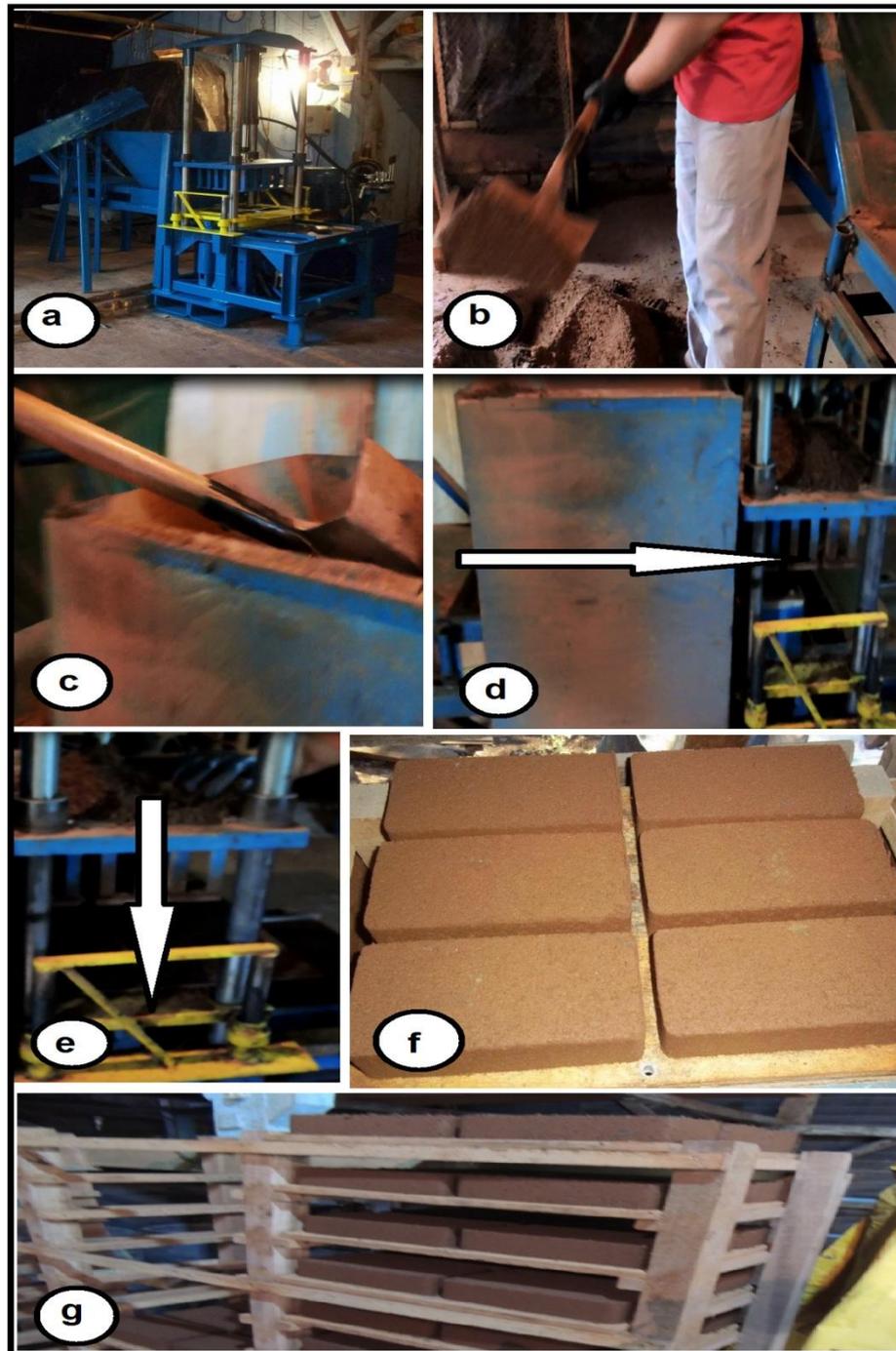
Figura 25 – Corredor de secagem da olaria



Fonte: Autoria própria

Para os tijolos de solo-cimento, o processo de moldagem ocorre de modo diferente se comparado ao processo da olaria. Ao contrário da maromba, utiliza-se para a fabricação a prensa hidráulica (Figura 26a). O processo consiste em colocar a mistura dentro da prensa de forma manual (Figura 26b e Figura 26c), em seguida empurra-se a manivela para direita (Figura 26d). Com isso, a mistura cai sobre o molde, onde é prensada por um pistão hidráulico (Figura 26e). De cada prensagem resultam seis tijolos de solo-cimento (Figura 26f), de dimensões parelhas, por serem resultados da modulação da prensa hidráulica. Para cada moldagem é colocado um pallet na parte inferior da máquina, assim os tijolos são retirados sobre os mesmos e colocados em prateleiras durante seis horas (Figura 26g).

Figura 26 – Esquema de processo de moldagem dos tijolos de solo-cimento



Fonte: Autoria própria

4.1.3 Queima e secagem

Depois de ocorrida a diminuição da umidade dos tijolos cerâmicos, os mesmos estão prontos para a queima. Assim, são retirados das prateleiras (Figura 27a), passando para a esteira que os leva em direção ao forno (Figura 27b). A olaria estudada possui dois fornos de

“campanha”, classificando-se como fornos intermitentes. Os fornos intermitentes são utilizados na queima de pequenos volumes de peças. Os tijolos são organizados dentro dos mesmos, construindo assim camadas de paredes em seus interiores (Figura 27c). O interior do forno é totalmente preenchido até à chaminé (Figura 27d), sua porta é selada com argila (Figura 27e) e é feita a queima. Durante três dias o forno é alimentado com lenha (Figura 27f), caracterizando assim um alto consumo de energia. Passado esse período, espera-se um dia para a retirada dos tijolos (que nesse momento já estão em temperatura ambiente) e sua posterior venda. Como ao material não é cozido de forma contínua, algumas unidades dos tijolos acabam sendo desprezadas no término da operação, por excesso ou falta de queima.

Figura 27 – Processo de queima dos tijolos cerâmicos



Fonte: Autoria própria

Diferente dos tijolos cerâmicos, os tijolos de solo-cimento não necessitam da queima. Como pode ser analisado na Figura 28, durante a prensagem, os tijolos já são sobrepostos sobre pallets (Figura 28a e Figura 28b). Depois de retirados da prensa hidráulica, com o auxílio dos pallets, são colocados em prateleiras (Figura 28c). Passadas seis horas, os tijolos são movidos em direção as pilhas (Figura 28d e Figura 28e). Durante esse processo é de grande importância que haja pulverização de água sobre os tijolos, mantendo-os umedecidos, durante três dias (Figura 28f). A cura de sete dias é indispensável para o transporte e a utilização dos tijolos nas obras civis.

Figura 28 – Processo de secagem dos tijolos de solo-cimento



Fonte: Autoria própria

Na etapa de mistura, tanto a olaria quanto a fábrica tijolos de solo-cimento provocam desgastes no solo de onde o mesmo foi retirado, porém ambas tomam cuidados quanto à retirada da mata nativa aos seus arredores. No processo de moldagem, as duas também têm um gasto energético significativo. Portanto, a grande diferença entre as fábricas, quando analisadas sob ponto de vista ambiental, se da ao fato de os tijolos de solo-cimento não necessitarem do processo de queima, sendo assim mais ecológicos que os tijolos cerâmicos. Na produção cerâmica tem-se a utilização predominante de materiais energéticos degradantes, como o uso da lenha na queima do produto. Mesmo tratando-se de lenhas de reflorestamento, não pode-se esquecer que a queima das mesmas resulta na emissão de gases (CO₂), que a longo prazo contribuem ao aquecimento global.

4.2 Análise das dimensões dos tijolos e custos

Com os dados coletados a partir das medições, obtiveram-se os seguintes resultados que são mostrados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Dimensões dos tijolos cerâmicos (cm)

	Comprimento	Largura	Altura
24 tijolos	555,50	272,00	127,80
Valor de média	23,15	11,33	5,33
Valor unitário	23,40	11,30	5,40
Valor de norma (NBR 7170)	19,00	9,00	5,70
	19,00	9,00	9,00

Fonte: Autoria própria

Entre o valor de média e o valor unitário, a Tabela 4 demonstra que a variabilidade entre ambos ocorre dentro da tolerância de 3mm, especificada na NBR 7170 (ABNT 1983), resultando numa pequena diferença. Porém, ao comparar o valor de média com o valor recomendado em norma, observa-se a grande discordância entre ambos, ocasionada pela simplicidade da fábrica. Os tijolos são cortados de forma precária e manualmente. Com isso, o comprimento do valor unitário torna-se 23,15% superior ao recomendado pela norma.

Em contrapartida, os tijolos de solo-cimento, por serem modulares, possuem dimensões mais constantes, o que acarreta em uma pequena variabilidade dimensional, sendo próxima a 1mm (ABNT NBR 8491, 2012) . Porém, ao comparar o valor unitário com o valor

recomendado em norma, que pode ser observada na Tabela 5, a diferença nos comprimentos é de 6%.

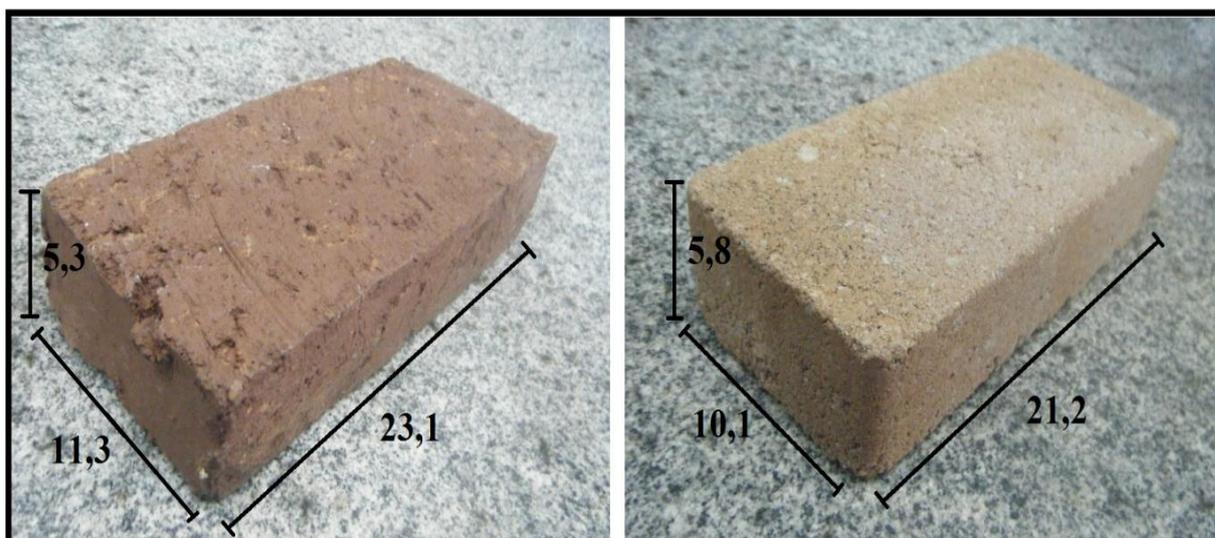
Tabela 5 – Dimensões dos tijolos de solo-cimento (cm)

	Comprimento	Largura	Altura
Valor unitário	21,2	10,1	5,8
Valor de norma (NBR 8491)	20	10	5

Fonte: Autoria própria

Deste modo, assumindo as dimensões demonstradas na Figura 29 e assumindo uma camada de argamassa de 1,5cm entre as fiadas, tornou-se possível executar os cálculos comparativos de custo do metro quadrado de ambos os tijolos, que são apresentados na Tabela 6.

Figura 29 – Dimensões dos tijolos (cm)



Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – Comparativo entre tijolos

	Tijolo cerâmico	Tijolo de solo-cimento
Comprimento (cm)	23,10	21,20
Altura (cm)	5,30	5,80
Número de tijolos por metro quadrado	59,78	60,35
Valor do milheiro (R\$)	310,00	320,00
Custo m² (R\$)	18,53	19,31

Fonte: Autoria própria

Com isso, pode-se concluir que o custo do metro quadrado dos tijolos de solo-cimento é 4,20% superior ao de tijolos cerâmicos. Entretanto deve-se levar em conta que os tijolos cerâmicos estudados são menos uniformes se comparados aos tijolos de solo-cimento, o que pode acarretar num acréscimo de gastos com o reboco. Devido a boa planicidade dos tijolos de solo-cimento, os mesmos podem vir a dispensar o reboco, conforme pode ser visto (Figura 30).

Figura 30 – Churrasqueira e bancada construída com tijolos de solo-cimento aparentes



Fonte: Autoria própria

A produção também deve ser levada em conta. A olaria tem seu funcionamento com base em seis funcionários, com jornadas de segunda a sábado. Pode-se dizer que sua produção envolve mais etapas, se comparado às fábricas de solo-cimento, entretanto, com dois fornos de campanha, sua produção é maior, como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Produção mensal de tijolos

	Tijolo cerâmico	Tijolo de solo-cimento
Produção mensal	70 mil	33 mil

Fonte: Autoria própria

Por ser de âmbito familiar, a fábrica de solo-cimento por enquanto é executada com base no trabalho de apenas dois operários. A produção é realizada de segunda a sexta, sendo assim produzidos 1.500 tijolos/dia. Não obstante, a prensa hidráulica empregada tem capacidade de produzir 5.000 tijolos/dia. Deste modo, considerando seis funcionários e também os sábados, a produção poderia ultrapassar a marca da olaria, chegando a 135.000 tijolos produzidos em um mês.

4.3 Determinação da resistência à compressão

Os valores individuais de resistência à compressão, expressos em MPa, são resultados da divisão da carga máxima obtida durante o ensaio, pela média das áreas das duas faces e podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores individuais de resistência à compressão dos tijolos

Tijolos cerâmicos (MPa)	Tijolos de solo-cimento (MPa)
9,64	3,78
7,32	3,88
7,53	5,23
5,4	4,03
4,32	5,17
7,73	4,37
8,53	3,03
8,15	4,55
10,78	4,32
5,93	4,55
8,81	
6,27	
8,77	

Fonte: Autoria própria

A NBR 7170 (ABNT 1983) classifica e especifica que a resistência mínima dos tijolos cerâmicos deve ser superior aos valores indicados nas três classes demonstradas na Tabela 9:

Tabela 9 – Resistência mínima à compressão em relação à categoria

Categoria	Resistência à compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

Fonte: NBR 7170 (ABNT 1983)

Já para os tijolos de solo-cimento, a NBR 8491 (ABNT 2012) aponta que as amostras ensaiadas à compressão não podem apresentar a média dos valores menor do que 2,0 MPa, nem valores individuais menores que 1,7 MPa, com idade mínima de sete dias. Os resultados

dos ensaios de compressão realizados para os tijolos são apresentados na Tabela 10. A partir da média dos ensaios de resistência à compressão, tornou-se possível efetuar cálculos de desvio padrão e coeficiente de variação.

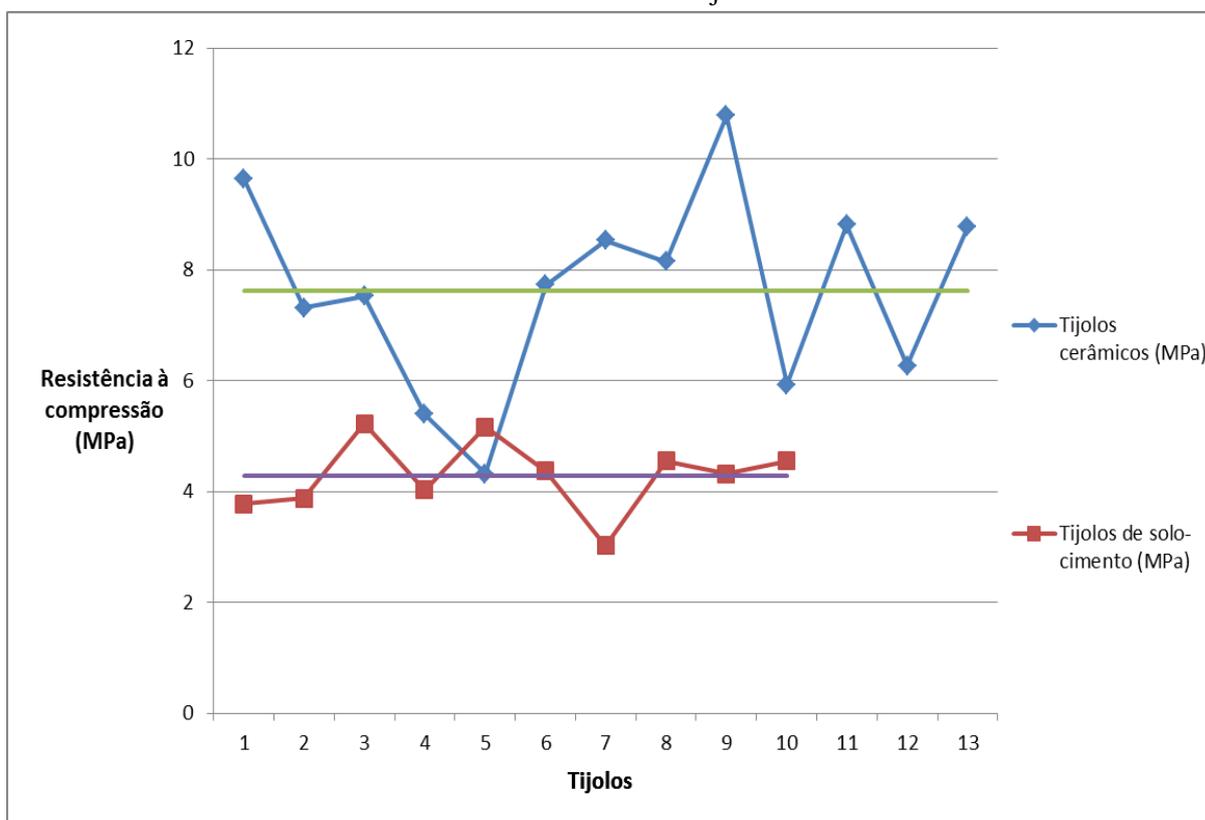
Tabela 10 – Resultado dos ensaios de resistência à compressão

	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
Tijolo cerâmico	7,63	1,79	23,48
Tijolo de solo-cimento	4,29	0,66	15,31
Amostra: 13 tijolos cerâmicos e 10 tijolos de solo-cimento			

Fonte: Autoria própria

Se comparados aos valores especificados em norma (4 MPa para tijolos cerâmicos de categoria C e 2 MPa para tijolos de solo-cimento), tanto os tijolos cerâmicos quanto os de solo-cimento obtiveram resultados satisfatórios de resistência à compressão média. Os valores de resistência à compressão obtidos nos tijolos cerâmicos, quando comparados com a resistência mínima de 4MPa, definida como categoria C, apresentam uma resistência média de 90,8% superior. No que se refere aos tijolos de solo-cimento a resistência à compressão média obtida é 114,5% superior a resistência mínima determinada pela norma (NBR 8491). Observa-se que os tijolos cerâmicos, neste estudo, obtiveram valores de resistência à compressão superiores aos de tijolos de solo-cimento, que atingiram resistências mais uniformes. Os tijolos cerâmicos também adquiriram um desvio padrão e um coeficiente de variação maiores que os obtidos nos ensaios de tijolo de solo-cimento. Isso se deve a maior variância de resistência individual dos tijolos da olaria, como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resistência média e resistência individual dos tijolos



Fonte: Autoria própria

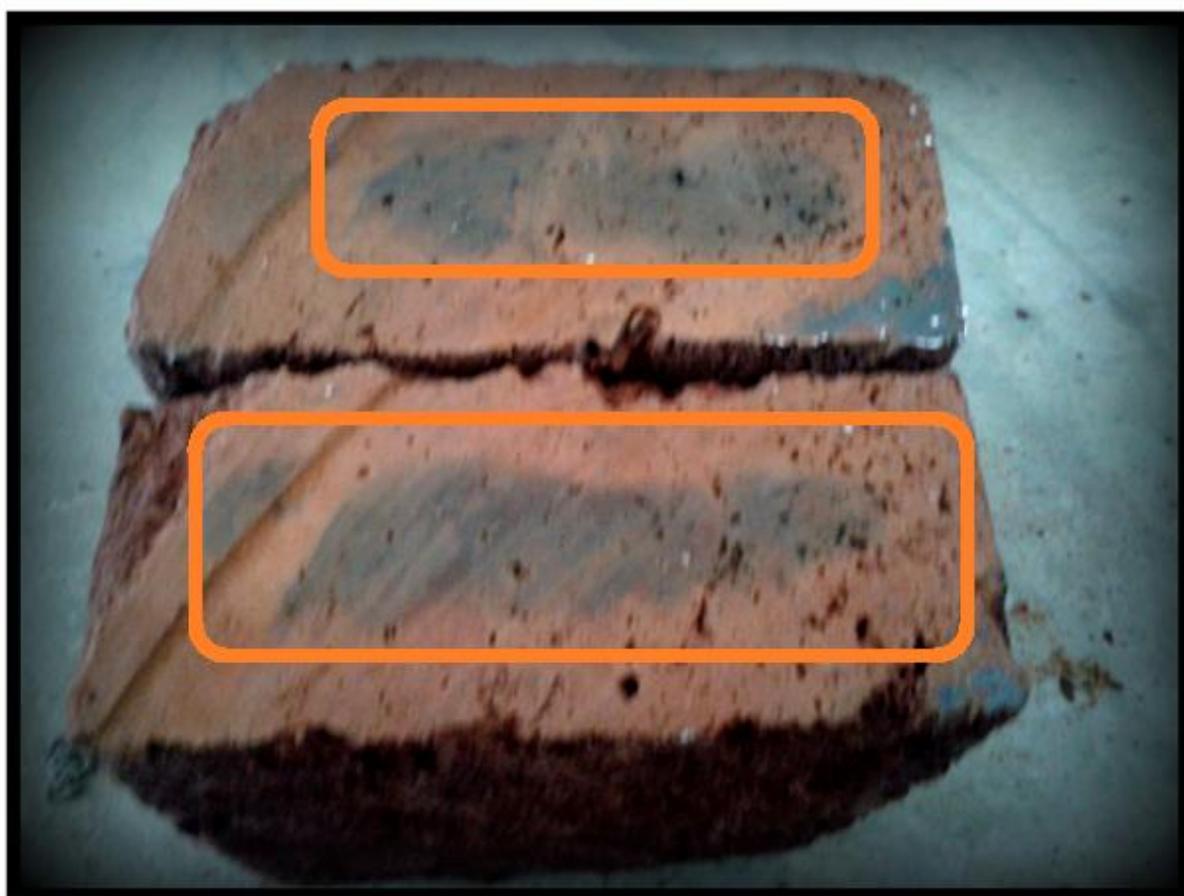
O coeficiente de variação observado nos tijolos de solo-cimento (15,31%) é resultado da homogeneização da mistura, uma vez que a massa é produzida de forma manual, com isso um tijolo pode conter uma maior porcentagem de cimento se comparado a outro, resultando em maior ou menor resistência. O tipo de solo escolhido também pode vir a influenciar na diferença de resistências. Camadas diferentes de solo possuem resistências diferentes e tipos diferentes de solo provocam adaptações no traço, resultando também em alterações de resistência à compressão.

No caso da olaria, o resultado da resistência à compressão média de 7,63MPa vem a evidenciar que a jazida de argila é de grande valor, mas a variância dos resultados, demonstrada no Gráfico 1, também aponta para diferença de camadas da jazida e problemas de homogeneização da mistura. Outro efeito, que tem grande parcela de contribuição na variância dos valores individuais de resistência à compressão dos tijolos cerâmicos, se baseia no processo de queima. O forno não executa uma queima contínua e como consequência, o

material não é cozido de forma uniforme. Com a queima intermitente acaba sendo necessário até desprezar algumas unidades no final da operação, por falta ou excesso de queima.

Outro efeito que é ocasionado pela queima não uniforme associada a outros fatores, é o “coração negro”, conforme mostra a Figura 31. A causa principal deste efeito é a presença de substâncias orgânicas e baixo teor de óxidos de ferro na composição química da argila. Este fenômeno é acentuado por fatores que reduzem a permeabilidade aos gases, como a umidade incorreta, espessura elevada do produto e fusão inadequada de alguns componentes da massa (provocada pela queima não contínua). Esse efeito também acarreta em diminuição de resistência mecânica dos tijolos.

Figura 31 – Coração negro



Fonte: Autoria própria

Por fim, o último efeito a ser considerado na variância de resistências à compressão dos tijolos cerâmicos pode ser atribuído ao fato de que a mesa de corte dos tijolos é mais baixa que a saída da maromba, como pode ser analisado na Figura 32. Por esse motivo, os

tijolos entram em carga e fissuram antes mesmo de adquirirem a resistência mecânica mínima.

Figura 32 – Mesa mais baixa que a maromba



Fonte: Autoria própria

4.4 Determinação da absorção da água

Depois de analisada a resistência à compressão, passou a ser avaliado o comparativo da absorção de água de ambos os tijolos, tendo como base a NBR 8492 (ABNT 2012). A norma detalha que a média dos valores de absorção para tijolos de solo-cimento não pode ser maior que 20%, e os valores individuais não devem ser maiores que 22%, para os tijolos com idade mínima de sete dias. Já no caso dos tijolos cerâmicos, a absorção de água não é normalizada. No entanto, Isaia (2007a) afirma que os tijolos de olaria possuem elevada absorção de água, entre 15% e 25% e, já Petrucci (2007) testemunha em sua obra que os tijolos cerâmicos apresentam absorção compreendida entre 10% e 18%.

A Tabela 11 apresenta os valores individuais de massa dos tijolos secos e saturados e a Tabela 12 expõe os resultados do ensaio de absorção dos tijolos, valores individuais, sua média, desvio padrão e coeficiente de variação. Dispondo do valor do peso seco dos tijolos

(parcela de resultado do ensaio de absorção) e o volume dos tijolos, calculou-se conjuntamente a densidade média dos tijolos.

Tabela 11 – Valores de massas dos tijolos

Tijolos	Cerâmico			Solo -cimento		
	1	2	3	1	2	3
Massa do tijolo seco em estufa (g)	1982,3	2082,8	1912,2	2134,4	2039,3	2101,8
Massa do tijolo saturado (g)	2407,2	2537,1	2347,2	2359,5	2274,4	2323
Absorção da água (%)	21,43	21,81	22,75	10,55	11,53	10,52

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 – Resultado do ensaio de absorção da água dos tijolos

Tijolos	Cerâmico			Solo -cimento		
	1	2	3	1	2	3
Absorção da água (%)	21,43	21,81	22,75	10,55	11,53	10,52
Média da absorção (%)	22,00			10,87		
Desvio padrão (%)	0,68			0,57		
Coefficiente de variação (%)	3,08			5,28		
Densidade média (g/cm ³)	1,69			1,46		

Fonte: Autoria própria

Com os dados descritos na Tabela 12, pode-se concluir que o desvio padrão e o coeficiente de variação da absorção são relativamente baixos nos dois casos, apresentando uma absorção homogênea. Da mesma forma, pode-se observar que os tijolos de solo-cimento estão com a absorção de acordo com a NBR 8492 (ABNT 2012), por não apresentarem valor

superior a 20%. Os tijolos cerâmicos se enquadram no conceito de Isaia (2007a), uma vez que o valor de absorção médio está entre 15% e 25%.

Caso os tijolos apresentassem altas absorções da água, a mesma tenderia a retirar a água da argamassa e conseqüentemente prejudicar a hidratação do cimento, o que por sua vez provocaria a diminuição da resistência da argamassa de assentamento, gerando fissuras por retração. Em contrapartida, baixas absorções dos blocos poderiam impedir a conveniente penetração da argamassa nos poros dos tijolos, prejudicando a aderência.

Com os resultados da densidade média, pode-se avaliar que os tijolos de solo-cimento apresentam uma densidade 15,75% mais baixa que os tijolos cerâmicos. Essa menor densidade pode resultar em menos peso nas paredes de alvenaria e conseqüentemente menos carga para as fundações e para o solo.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados expostos, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- Por não necessitar do processo de queima como ocorre nas olarias, os tijolos de solo-cimento podem ser considerados mais ecológicos que os tijolos cerâmicos. O uso da lenha resulta no desmatamento de florestas e sua queima emite gases que contribuem para o aquecimento global.
- O custo do m² dos tijolos de solo-cimento é um pouco mais elevado (4,20%) se comparado aos tijolos cerâmicos. Mas vale ressaltar que os tijolos de solo-cimento são mais planos e mais modulares. Dependendo da proposta de obra, podem vir a dispensar o reboco, diminuindo as etapas de construção e conseqüentemente o custo de produção final de uma edificação.
- Tanto os tijolos cerâmicos quanto os de solo-cimento apresentaram uma variância dimensional dentro dos limites especificados em suas respectivas normas (NBR 7170: 3mm para tijolos cerâmicos; NBR 8491: 1mm para tijolos de solo-cimento). Porém, nenhum dos dois tijolos estudados apresentam dimensões recomendadas em suas respectivas normas.
- No que se refere a resistência à compressão, ambas as fábricas produzem tijolos com resistência acima do mínimo especificado em normas, sendo 90,8% a mais de resistência para tijolos cerâmicos de categoria C e 114,5% a mais para tijolos de solo-cimento. Com tal característica, sob ponto de vista construtivo, as duas variedades de tijolos analisadas são de grande valor. Mas vale atestar que neste estudo, os tijolos cerâmicos apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos dos tijolos de solo-cimento, que em contrapartida apresentaram valores mais homogêneos.
- Os dois tijolos estudados atingiram uma regular absorção de água, onde os de solo-cimento obtiveram resultados de acordo com a NBR 8492 (ABNT 2012), por apresentarem uma média de absorção de 10,87%, não superior a 20%. Nos tijolos cerâmicos o valor de absorção médio foi de 22 %, estando assim entre 15% e 25% e se enquadrando nos conceitos de Isaia (2007a), garantindo desta forma um bom desempenho no assentamento dos tijolos. Ligada à absorção, a densidade apresentou-se mais elevada nos tijolos cerâmicos, quando comparados aos de solo-cimento. Neste sentido, os tijolos de solo-cimento podem ser uma boa escolha, já que possuem uma

densidade 15,75% mais baixa que os tijolos cerâmicos, resultando em menos carga e consequentemente menos gastos para as fundações.

A escolha do tijolo a ser empregado em uma construção deve ser em função do resultado final a ser esperado. Caso a ideia geral da obra vise a sustentabilidade ou uma construção com tijolos à vista na região Noroeste do Rio Grande do Sul, a melhor escolha aponta para os tijolos de solo-cimento. Mas caso queira uma obra um pouco mais barata e com boa resistência, este estudo aponta para os tijolos cerâmicos. Infelizmente, muitas vezes a escolha dos materiais acaba sendo baseada na disponibilidade dos mesmos e no custo, não na finalidade, sendo normalmente deixada de lado a visão ambiental tão importante na atualidade. Pequenas boas escolhas (e atitudes), quando somadas, fazem a diferença.

6 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS

- Estudar uma possível conversão da fábrica de tijolos cerâmicos para o uso de gás natural na queima dos tijolos, ao invés de lenha.
- Estudar o melhor posicionamento dos tijolos cerâmicos dentro do forno, para maior otimização da queima, tornando a mesma mais uniforme.
- Por apresentarem uma resistência realmente elevada, estudar uma nova dosagem da mistura dos tijolos cerâmicos, com diferentes adições, visando uma maior duração da jazida e diminuindo os impactos ambientais da extração da argila.
- Estudar sobre a grande variância dos resultados de resistência à compressão dos tijolos cerâmicos, analisando se a mesma ocorre principalmente em função da queima não uniforme ou em função das diferentes camadas de solo da jazida e diferentes porcentagens de adições de serragem.
- Estudar um novo traço nos tijolos de solo-cimento, para que se obtenha uma resistência à compressão mais próxima ao valor mínimo de norma, diminuindo gastos com cimento.
- Estudo de um meio mais contínuo e uniforme no umedecimento dos tijolos de solo-cimento, ajudando na obtenção de mais resistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13553**: materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6460**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7170**: tijolo maciço para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8491**: tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8492**: tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção d'água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ANDRADE, Cleide Cedeni; AFONSO, Sônia. **Materiais de construção e arquitetura ao longo da história**. Mestrado do programa de pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2009, não paginado.

ANTUNES, Isabella Silva. **Aplicação de solo-cimento em habitações populares**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Sergipe (UFS), 2008.

BACCELLI JÚNIOR, G. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó- RN**. 201 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção** – volume 1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005a. 471 f.

_____. **Materiais de construção** – volume 2. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005b. 488 p.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n.3, p. 31-36, mai./jun., 2000.

CORDEIRO, M. E. V. M.; CONSCEIÇÃO, P.M.; LIMA, T. V.. **A educação ambiental e o uso do solo-cimento**. Revista Vértices, Rio de Janeiro, v.8, n. 1/3, jan./dez.2006. Disponível em:<<http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/61>>. Acessado em: 9 fev. 2013.

CORRÊA, L. Roberto. **Sustentabilidade na Construção civil**. 70 p. Escola de engenharia: Departamento de engenharia de materiais e construção: Curso de especialização em construção civil. Universidade federal de Minas Gerais- UFMG. Minas Gerais, 2009.

DRUSZCZ, M. Tabor. **Avaliação dos aspectos ambientais dos materiais de construção civil** – uma revisão bibliográfica com estudo de caso do bloco cerâmico. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Setor de Tecnologia na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 2002.

FREIRE, W. Jorge; BERALDO, A. Ludovico. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. 331 p. Editora Unicamp: Campinas-SP, 2003.

FUNTAC. **Cartilha para produção de tijolo de solo-cimento**. Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, 1999. Não paginado.

GRANDE, Fernando M.. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 180 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

GRIGOLETTI, G. de Campos. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001.

ISAIA, G. Cechella. et. al.. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais** – volume 1.. 1 edição. São Paulo: Ípsis Gráfica e Editora, 2007a.

_____. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais** – volume 2. 1ª edição. São Paulo: Ípsis Gráfica e Editora, 2007b.

MARTINS, J. G.; SILVA, A. P. **Produtos cerâmicos**. Série materiais. 2ª edição, 2004. Disponível em:<<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Construcoes/Produtos%20Ceramicos.pdf>>. Acessado em: 9 fev. 2013.

MIELI, Priscilla H.. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. 59 p. Monografia submetida à coordenação do curso de Engenharia dos

Materiais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, com requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Materiais. Rio de Janeiro, 2009.

MILANI, A. P. da Silva. **Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz.** Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Construções Rurais e Ambientais) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

MORAES, P. Gomes. Et. al.. **Construção Civil – Engenharia Civil na Universidade de Pernambuco.** 43 p. Recife, 2011.

OLIVEIRA, F.E. M.. **Acompanhamento da produção industrial em cerâmica da microrregião do Vale do Assu: estudo de caso.** Monografia para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia - Universidade Federal do Semi-árido. Angicos (RN), 2011.

PETRUCCI, E. G. R.. **Materiais de construção civil.** 12ª edição (2003). 2ª reimpressão (2007). Editora Globo: São Paulo, 2007.

REGO, N.V. de Almeida. **Tecnologia das Construções.** Sindicato nacional dos editores de livros: Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO, C.C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** 101 p. Editora UFMG: Belo Horizonte – MG, 2006.

RIO + 20. Conferência das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento sustentável. Disponível em: <<http://www.rio20.info/2012/objetivos-e-temas>>. Acessado em: 10 de fev. 2013.

SEBRAE. Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos - estudo de mercado. SEBRAE: Brasília, 2008.

SILVA, A. Vieira. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará: da extração da matéria prima à fabricação.** 104 p. Monografia submetida à coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil. Fortaleza, 2009.

SOMA, Wagner Kazuo M.. **Solo- Cimento.** Instituto de ciências naturais e tecnológicas : Departamento de Agronomia. Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT, 2012.

SOUZA, T. A. C. et. al.. **Análise preliminar da resistência à compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de Ipaba**. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção – PPGEP. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2011.

TEODORO, N. F. Godinho. **Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: reciclagem e reutilização de materiais**. 91 p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil- Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

THOMAZ, C.A.. **Paredes monolíticas de solo-cimento: Hospital Adriano Jorge**. Publicações ABCP, São Paulo, 1979.

ZARPELON, Marcio. **Sustentabilidade na construção civil**. Publicado em 20 jun. de 2012. Disponível em:<<http://revistageracaosustentavel.blogspot.com.br/2012/06/sustentabilidade-na-construcao-civil.html>>. Acessado em: 10 de fev. 2012.