

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA

CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM MATERIAIS DE
DESCARTE: PROPOSTA COM VIÉS DE SUSTENTABILIDADE**

ALESSANDRO CAMPOS

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2019

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA

CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALESSANDRO CAMPOS

**PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM MATERIAIS DE
DESCARTE: PROPOSTA COM VIÉS DE SUSTENTABILIDADE**

ALESSANDRO CAMPOS

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS

**TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO, CAMPUS
SANTA BÁRBARA D'OESTE, UNIVERSIDADE
METODISTA DE PIRACICABA – UNIMEP,
COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.**

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2019

**PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM MATERIAIS DE
DESCARTE: PROPOSTA COM VIÉS DE SUSTENTABILIDADE**

ALESSANDRO CAMPOS

**TESE DE DOUTORADO DEFENDIDA EM 06 DE AGOSTO DE 2019, AVALIADA E
APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA CONSTITUÍDA PELOS PROFESSORES:**

**PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS (PRESIDENTE E ORIENTADOR)
(UNIMEP – UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA)**

**PROF. DR. APARECIDO DOS REIS COUTINHO
(UNIMEP – UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA)**

**PROF. DR. CARLOS ROBERTO CAMELLO LIMA
(UNIMEP – UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA)**

**PROF. DR. OTÁVIO JOSÉ DE OLIVEIRA
(UNESP – CAMPUS GUARATINGUETÁ)**

**PROF. DR. ANTONIO CARLOS PACAGNELLA JR.
(FCA - UNICAMP)**

DEDICATÓRIA

A minha filha Nina R. O. Campos, minha esposa Carolina R. Miranda, que foram o suporte para desenvolver este trabalho e a minha mãe, Mabel O. Campos, por todo o esforço para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu pai Adhemar L. Campos (*in memoriam*), pelo exemplo de caráter e dedicação.

A Deus, pela graça da vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos recebidas durante toda a minha existência.

Ao meu orientador, o Professor Dr. Fernando Celso de Campos, pela paciência e sabedoria com que conduziu a orientação deste trabalho, com seu conhecimento e sua experiência profissional, transmitidos de forma didática e muito enriquecedora, meu muito obrigado.

Ao Professor Dr. Aparecido dos Reis Coutinho pelo aceite em participar da banca de qualificação e propiciar grandes contribuições ao desenvolvimento da pesquisa, assim como as palavras de apoio e preocupação no desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Dr. Carlos Roberto Camello Lima, pelo aceite em participar da banca de qualificação e propiciar grandes contribuições ao desenvolvimento da pesquisa.

À Marta Helena T. Bragáglia, pela competência e dedicação ao Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção da UNIMEP, e por seu apoio e incentivo no desenvolvimento das atividades, muito obrigado.

Aos Professores do programa, pelas orientações durante o período em que estive cursando o doutorado.

À Universidade Católica Dom Bosco, e todos os envolvidos no desenvolvimento da pesquisa, meu muito obrigado.

Agradeço aos familiares, amigos e companheiros de trabalho e de vida, que em minha ausência nos momentos dedicados para os estudos, entenderam que o futuro depende da dedicação no presente.

Que todos recebam minha homenagem e meu sincero agradecimento, e que Deus dê muita paz, saúde e sabedoria a cada um de vocês!

CAMPOS, A. **Produção de Tijolos de Solo-cimento com Materiais de Descarte: Proposta com Viés de Sustentabilidade.** 2019. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Campus Santa Bárbara D'Oeste, Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, SP.

RESUMO

O descarte inadequado dos resíduos sólidos urbanos representa um problema ambiental devido à geração de passivos ambientais e minimizar impactos pode ser possível por meio da reciclagem, ao propor um produto alinhado aos princípios sustentáveis, utilizando resíduos sólidos urbanos. Este trabalho consiste na produção de tijolos de solo-cimento com a substituição parcial e gradual do consumo de solo por raspas de pneu e de resíduos de marmorarias, assim como a averiguação da qualidade do produto e validação de requisitos de acordo com as normas vigentes. Para delinear o experimento, determinou-se, através de levantamento bibliográfico, coleta e uso dos materiais na produção dos tijolos de solo-cimento a partir de um traço de referência, com substituição de diferentes proporções dos materiais para determinar o melhor traço e método de cura com menor consumo de cimento e solo. Do ponto de vista tecnológico, mostrou-se viável incorporar raspas de pneus e pó de marmorarias, pois houve redução do uso de materiais não renováveis, minimizando o impacto ambiental com valores de resistência que atendem as normas vigentes. Do ponto de vista acadêmico, constatou-se o ineditismo da pesquisa, pois, até o momento, não há relato de utilização simultânea destes materiais na proposição de um traço testado e validado. Do ponto de vista comercial, há indícios positivos econômicos, ao demonstrar ser possível a confecção de um produto de fácil execução e com diminuição dos custos, pela redução do uso de cimento e solo, incorporando materiais descartados.

Palavras-chaves: Tijolos de solo-cimento, resíduos sólidos urbanos, desenvolvimento sustentável, tijolos ecológicos com resíduos sólidos urbanos.

CAMPOS, A. **The production of soil cement bricks with scrap materials: Proposal with sustainability bias.** 2019. 163 p. Thesis (Doctoral Degree in Production Engineering) Santa Bárbara d'Oeste Campus, Methodist University of Piracicaba - UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, Brazil.

ABSTRACT

The improper disposal of solid urban waste represents an environmental problem due to the generation of environmental liabilities and minimize impacts may be possible through recycling to propose a product aligned to sustainable principles using municipal solid waste. This work consists of the production of soil-cement bricks with partial and gradual replacement of soil consumption for tire shavings and waste of marble workshops, as well as the investigation of product quality and validation of requirements in accordance with the standards in force. To outlining the experiment, determined by bibliographical collection and use of the materials in the production of soil-cement bricks from a mark, with different proportions of materials substitution to determine the best stroke and method of healing with less consumption of cement and soil. From the technological point of view, was shown to be feasible to incorporate scraps of tire and marble and granite powder, because there was a reduction of the use of non-renewable materials, minimizing the environmental impact with resistance values that meet the current standards. From the academic point of view it has the originality of the research, because so far there is no report of simultaneous use of these materials on the proposition of a tested and validated. Commercially, there are positive signs, to demonstrate that it is possible to make a product easy to perform and to decrease costs by reducing the use of cement and soil, incorporating discarded materials.

Keywords: Soil-cement bricks, municipal solid waste, sustainable development, ecological bricks with municipal solid waste.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1.OBJETIVO DA TESE	5
1.1.1.OBJETIVO GERAL.....	5
1.1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.2.JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	6
1.3.VISÃO GERAL DA PESQUISA	7
1.4. ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO	9
2.REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1.DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E TRIPLE BOTTOM LINE	10
2.2.SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
2.3.TIJOLOS SOLO-CIMENTO	20
2.4.SOLO-CIMENTO NAS EDIFICAÇÕES.....	27
2.5.ELEMENTOS CIMENTÍCIOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS	29
2.6.RECICLAGEM DE RESÍDUOS.....	47
2.7.RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – PÓ DE MÁRMORE	53
2.8.RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - PNEUS	58
2.9.ADIÇÃO DE BORRACHA EM ELEMENTOS CIMENTÍCIOS	65
3.MATERIAIS E MÉTODOS	74
3.1.MATERIAIS UTILIZADOS E MÉTODOS APLICADOS.....	78
3.1.1.TRABALHABILIDADE E USO DE ADITIVOS PLASTIFICANTES	84
4.RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
4.1.ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO	85
4.2.TRAÇO DE REFERÊNCIA	87
4.3.TRAÇOS COM RESÍDUOS	89
4.4.MOLDAGEM E RUPTURA	91
4.5.EXPERIMENTOS DE TRAÇOS COM RESÍDUOS	94
4.5.1.EXPERIMENTOS DE TRAÇOS COM RASPAS DE PNEU	94
4.5.2.EXPERIMENTOS COM TRAÇOS DE RASPAS DE PNEU E PÓ DE MARMORARIA.....	100
4.5.2.1.CONFEÇÃO DE TIJOLOS MM03 COM ADITIVOS PLASTIFICANTES	106
4.5.2.2.ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	109
4.6.DETERMINAÇÃO DO TRAÇO IDEAL COM ADIÇÃO DE RSU	110
4.7.VIABILIDADE ECONÔMICA	113
5.CONCLUSÃO	117
5.1.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	119
REFERÊNCIAS	120
APÊNDICES	146

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VISÃO GERAL DA PESQUISA.	8
FIGURA 2 - MODELO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO.	23
FIGURA 3 - TESTE DE RETRAÇÃO DO SOLO.	25
FIGURA 4 - TESTE DE CAIXA E VERIFICAÇÃO DA RETRAÇÃO DO SOLO.	26
FIGURA 5 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE LOGÍSTICA DIRETA E LOGÍSTICA REVERSA.	60
FIGURA 6 - DESTINAÇÃO DE PNEU DESCARTADO INSERVÍVEL.	61
FIGURA 7 - CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS.	80
FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO.	86
FIGURA 9 - BOXPLOT DO TESTE DOS TIPOS DE CURA.	88
FIGURA 10 - CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS SUBMETIDOS A ENSAIO DE COMPRESSÃO.	92
FIGURA 11 - CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS APÓS RETIRADA DA FÔRMA.	92
FIGURA 12 - ROMPIMENTO DO CORPO DE PROVA.	93
FIGURA 13 - ROMPIMENTO DO CORPO DE PROVA.	93
FIGURA 14 –BOXPLOT DE ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA.	97
FIGURA 15 - ROMPIMENTO DO CORPO DE PROVA.	97
FIGURA 16 - MOLDAGEM DO TIJOLO DO EQUIPAMENTO HIDRÁULICO.	98
FIGURA 17 – MOLDAGEM DO TIJOLO DO EQUIPAMENTO HIDRÁULICO.	99
FIGURA 18 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PRENSA DO TIJOLO M08.	99
FIGURA 19 - TIJOLO MM 01.	102
FIGURA 20 – BOXPLOT DE ROMPIMENTO DO CORPO DE PROVA.	104
FIGURA 21 – BOXPLOT DE ROMPIMENTO DOS TIJOLOS.	106
FIGURA 22 - TIJOLO MOLDADO COM TRAÇO MM03.	107
FIGURA 23 - TIJOLO COM TRAÇO MM 03 APÓS TESTE DE ROMPIMENTO.	107
FIGURA 24- BOXPLOT NOS TRAÇOS MM03 E MM04 COM E SEM ADITIVOS.	108
FIGURA 25 - BOXPLOT NOS TRAÇOS MM03.	112

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO.	86
TABELA 2 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 07 E 28 DIAS.	87
TABELA 3 – TRAÇOS E MATERIAIS UTILIZADOS.	89
TABELA 4 - ENSAIO DE TEMPO DE AMASSAMENTO DA MISTURA.	90
TABELA 5 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILINDRICOS.	96
TABELA 6 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS.	100
TABELA 7 - VOLUME E MASSA DOS MATERIAIS INVESTIGADOS.	101
TABELA 8 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS.	102
TABELA 9 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO MM03.	105
TABELA 10- ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS MM03 E MM04.	108
TABELA 11 - ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA NOS TIJOLOS MM03.	109
TABELA 12 - MASSA UNITÁRIA DOS MATERIAIS (TRAÇO MM03).	110
TABELA 13 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS TRAÇO MM03.	111
TABELA 14 - AVALIAÇÃO DE CUSTOS E MATERIAIS PARA TIJOLO SOLO-CIMENTO MM03. .	114

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - QUADRO SÍNTESE DE DESCRIÇÃO GERAL DA ABORDAGEM METODOLÓGICA.	7
QUADRO 2 - QUADRO SÍNTESE DOS TRABALHOS SOBRE TIJOLOS COM RESÍDUOS.	31
QUADRO 3 – RESÍDUOS NO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.	54
QUADRO 4– PRODUÇÃO E VENDAS TOTAIS DE PNEUS NO BRASIL	58
QUADRO 5 – TEORES DE CIMENTO EM MISTURAS PARA TIJOLOS SOLO-CIMENTO.	80
QUADRO 6 – TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE AREIA POR RASPAS DE PNEU EM CONCRETOS. 81	
QUADRO 7 – TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE SOLO POR RASPAS DE PNEUS EM TIJOLOS.	82
QUADRO 8 – TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE SOLO POR RESÍDUOS DE MARMORARIAS EM TIJOLOS.	83
QUADRO 9 – CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS POR RSU.	83
QUADRO 10 – TIJOLO SOLO-CIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS NATURAIS POR RSU.	83
QUADRO 11 - COMPARATIVO DE ALVENARIA CONVENCIONAL E TIJOLOS SOLO-CIMENTO. .	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ANIP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM

CNPQ - CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

DS - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

PNRS - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

RECICLANIP - EMPRESA DE RECICLAGEM DA ANIP

RSU - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL

SIGRS - SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

TBL - *TRIPLE BOTTOM LINE*

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e populacional desordenado que ocorre nas grandes cidades gera um desperdício de matéria prima e resulta em grandes quantidades de resíduos sólidos urbanos (RSU), ocasionando problemas ambientais quanto ao descarte.

Conforme Zhang *et al.* (2018), o processo produtivo de cimento, devido a sua queima, está entre as grandes geradoras de resíduos, como emissão de gases poluentes ou de partículas sólidas na atmosfera, o que pode provocar degradação de ambientes naturais e graves problemas à saúde de seres vivos (MAURY e BLUMENSCHNEIN, 2012).

Com o intuito de reintroduzir resíduos no processo produtivo e transformá-los em novos produtos, a reciclagem pode ser uma alternativa na produção de elementos cimentícios, de modo que inúmeros pesquisadores vêm realizando estudos sobre tijolos ecológicos com a intenção de mitigar a queima e emissão de carbono gerado pela a construção civil (ZHANG *et al.*, 2018).

A reciclagem de resíduos sólidos para transformar em material de construção sustentável se faz necessário, para a redução de impactos ambientais adversos (MADURWAR *et al.*, 2015). Segundo Soares (2016), o desenvolvimento sustentável (DS) tem como princípio geral o conceito de preservação dos recursos naturais para que gerações futuras possam usufruir destes recursos.

O DS e o *triple bottom line* (TBL) são princípios de sustentabilidade desenvolvidos e publicados inicialmente por Elkington (1998), e se alicerçam no tripé econômico, social e ambiental. Este novo conceito deve ser entendido como uma filosofia, tal qual uma bússola, que fornece senso de direção aos sistemas produtivos como um conjunto de elementos integrados (pessoas, materiais, equipamentos, informações e energia), embasado nos quesitos econômicos com o envolvimento de todas as pessoas no ciclo produtivo (FLEURY, 2008; SOARES, 2016), e suas relações (JACKSON, 2003).

Ao propor conceitos do DS pelo viés do *TBL* alicerçado nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, pretende-se reduzir, reutilizar e reciclar materiais descartados (SLAPER e HALL, 2011), com o intuito de desenvolver atividades relacionadas com o descarte adequado dos resíduos sólidos urbanos, e propor operações que possam minimizar o impacto ambiental.

Devido o aumento dos riscos ao meio ambiente, faz-se necessário propor um sistema econômico alicerçado não somente em resultados financeiros, e gerar escassez ecológica e desigualdade social, mas deve-se buscar uma combinação entre fornecedores e mercado, ao integrar estratégias corporativas com intenção de gerar lucros, integrando as pessoas e preservando o meio ambiente (GIMENEZ *et al.*, 2012).

Efeitos como o aquecimento global e seus impactos despertam atenção para a sustentabilidade, ao que surge o tripé da Sustentabilidade ou o *TBL* (ELKINGTON, 2013), ao que processos produtivos que minimizem impactos ambientais podem ser interessantes, tal como a emissão de gases devido a queima em determinados processos produtivos, almejando equidade social e estabilidade econômica (MILNE e GRAY, 2013)

Em função destes conceitos, o governo brasileiro aprovou leis e decretos a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), ao direcionar o destino adequado de RSU, com metas de redução, reutilização e reciclagem, no intento de minimizar resíduos e rejeitos na destinação final, conforme resolução do CONAMA 348/2004, que define que o gerador de RSU deve ser o responsável pelo gerenciamento desses resíduos.

A Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010) define os resíduos sólidos provenientes da construção civil como Classificação I, resíduos estes provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras, incluindo preparação de terrenos. Tal lei sugere também a implementação de estratégias e procedimentos sustentáveis, ao promover o aproveitamento de resíduos sólidos.

Ainda, a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010) define que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes (no caso de pneus) devem programar sistemas de logística reversa baseados na economia circular, e retornar os produtos após seu uso principal, independente do serviço público de limpeza urbana com intuito de um adequado manejo dos resíduos sólidos.

Ao propor a utilização de materiais provenientes de descarte, o setor da construção civil pode ser um agente de inserção de resíduos sólidos urbanos em seus produtos, ao que se torna necessário adotarem práticas sustentáveis como forma de promover a preservação dos recursos naturais e responsabilidade social, não concentrando apenas nos resultados econômicos (SOARES, 2016).

Novas alternativas de produção visam à racionalização na construção civil, almejando redução de desperdícios, pois o descarte impactará com o entulho gerado pelo setor. Por milhares de anos o tijolo de barro vem exercendo um papel significativo na maioria das civilizações, devido à sua durabilidade, custos baixos e alta resistência (ZHANG *et al.*, 2018).

Para Mamede (2001) e Yoshida (2010), racionalizar a construção é um processo que torna possível aperfeiçoar recursos humanos, materiais, organizacionais, financeiros e tecnológicos e, desta forma, atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável, de acordo com a realidade local ao propor a racionalização como processo produtivo e promover o uso racional de matéria prima e recursos humanos durante o processo no setor da construção civil.

Ao recomendar racionalização, o conceito de circularidade (economia circular) propõe reduzir a quantidade de resíduos, bem como minimizar práticas provenientes da economia linear, ao eliminar desperdícios em processos produtivos, reuso de materiais, redução de custos com matéria-prima, oportunidades de novos modelos de negócios e melhoria da qualidade dos produtos (FREITAS e MAGRINI, 2017), contribuindo para a adequada manutenção dos ecossistemas e uso de energia proveniente de fontes renováveis, além da geração de novos empregos e do estímulo à inovação e o eco design (FIGUEROLA, 2008; EMF, 2012; EMF, 2013).

Devido aos problemas ocasionados na queima para fabricação de tijolos para o setor da construção civil, que tem crescido cerca de 20% entre 2004 até 2014 (MARQUES *et al.*, 2017), uma alternativa pode ser com o uso de tijolos ecológicos prensados a frio, assim como a reutilização de materiais provenientes de descarte como matéria prima na produção destes tijolos, como os resíduos de pneus e de lodo de marmorarias.

Desde 2002 os fabricantes e importadores de pneus devem coletar e dar destinação final aos pneus inservíveis (BRASIL, 2010), portanto o que pode ocasionar problemas ambientais é proveniente do descarte inadequado de pneus, assim como os resíduos de marmorarias, que gerados em grande quantidade sem descarte adequado causam impacto ambiental.

O uso consciente de materiais, assim como o uso de programas ou processos produtivos com emprego de sistemas construtivos por meio da modulação eleva o nível de qualificação profissional (REGINO, 2010), permitindo alcançar níveis mínimos de perdas e maior produtividade com projetos e processos adequados (NOGUEIRA *et al.*, 2018).

Deste modo, ao padronizar processos para o controle da confecção do produto visa minimizar custos, e possibilita também eliminar desperdícios (NAIME, 2010; MAMEDE *et al.*, 2006). A padronização deve ser sempre levada em consideração no processo produtivo, garantindo assim que a racionalização na construção civil atinja um nível de produtividade e qualidade esperado, com uniformização em operações repetitivas (YOSHIDA, 2010).

Deste modo, há uma necessidade crescente de propostas que empreguem materiais alternativos na construção civil, englobando práticas sustentáveis e a racionalização de recursos materiais e técnicas construtivas, o que será mais discutido e apresentado na revisão bibliográfica.

A partir deste contexto, apresenta-se o problema de pesquisa: ***Qual o traço ideal ao utilizar raspas de pneu e resíduos de marmorarias simultaneamente para produzir tijolo solo-cimento, de modo sustentável, atendendo às normas vigentes e sem perder qualidade?***

1.1. OBJETIVO DA TESE

Em consonância com o problema de pesquisa, os objetivos norteadores do estudo foram assim estabelecidos.

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Propor um traço ideal para a produção de tijolos solo-cimento com materiais de descarte (pó de mármore e raspas de pneu) de modo a se chegar a um traço ideal, que atenda as normas vigentes, os aspectos da sustentabilidade e a qualidade final.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender a este objetivo geral, têm-se como objetivos específicos:

- Selecionar, a partir da literatura as frações utilizadas e avaliar uma fração ideal de materiais;
- Avaliar o grau de relevância na inserção dos materiais propostos a partir de uma mistura de referência;
- Testar diferentes frações de materiais (solo, cimento, raspas de pneu, resíduos de marmorarias e água) para se chegar a um traço ideal do tijolo;
- Identificar indicadores do traço de referência e das misturas com uso de resíduos a partir da resistência mínima à compressão.
- Avaliar o grau de relevância da inserção dos resíduos na mistura proposta e quantidades para determinar o traço ideal;
- Verificar a qualidade do tijolo com testes de absorção de água e inserção de aditivos plastificantes a partir do traço ideal;
- Validar os tijolos propostos com o traço ideal a partir de testes de compressão com diferentes idades.

1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A utilização massiva de transporte rodoviário no Brasil e no mundo tem como consequência o consumo de pneus em larga escala, e seu descarte, inadequado na maioria das vezes, gera um impacto ambiental relevante, demandando ações para atenuar o passivo ambiental.

Inclusive, foi aprovada a Resolução CONAMA nº 258/99, que obriga os fabricantes e importadores a darem destinação final aos pneus inservíveis. Desde 2002, os fabricantes e importadores de pneus devem coletar e dar destinação final aos pneus inservíveis. A resolução também indica que os distribuidores, revendedores, reformadores e consumidores finais são corresponsáveis pela coleta destes pneus.

Outro ponto de atenção são os resíduos de marmorarias que podem causar impacto ambiental pelo seu descarte inadequado. Estes resíduos podem ser reutilizados em elementos cimentícios, pois possui atividade pozolânica (características aglomerantes), atividade cimentante (característica endurecimento) e como fíler (características de agregados finos) preenchendo os vazios e deixando a mistura mais homogênea (PETRY *et al.*, 2015).

Com intuito de empregar RSU em elementos para a construção civil e minimizar impactos ambientais a partir da produção de um tijolo que é composto por solo, cimento, água e RSU, considerando as raspas de pneu e resíduos de marmorarias.

Destaque-se que, até o presente momento, não se identificou nenhuma pesquisa semelhante com tais materiais empregados simultaneamente, o que é um indício de inovação, originalidade e avanço no conhecimento.

Justifica-se a relevância deste estudo ao se propor uma destinação adequada destes resíduos sólidos urbanos, visando a um menor impacto ambiental ao considerar a reciclagem de materiais que podem ser reaproveitados, sem gerar novos tipos de resíduos na produção de tijolos de solo-cimento.

1.3. VISÃO GERAL DA PESQUISA

De acordo com a proposta deste trabalho, as atividades desenvolvidas com relação ao processo produtivo com o objetivo de desenvolver tijolos de solo-cimento com uso de RSU proveniente do descarte inadequado dos resíduos sólidos urbanos (e possibilidade de reciclagem) apresentam iniciativas e práticas a serem desenvolvidas nos princípios de sustentabilidade.

A abordagem metodológica foi classificada, de um modo geral, nas suas ações e etapas, apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Quadro síntese de descrição geral da abordagem metodológica.

DEFINIÇÕES	DESCRIÇÃO	FONTE
Abordagem Geral	Qualitativa	Martins (2010)
Quanto aos Objetivos	Exploratória	Gil (2009); Gil (2002)
Quanto ao Método de Pesquisa	Experimental	Nakano (2010); Miguel (2007); Miguel (2012); Padovani (2014)
Procedimentos Técnicos	Pesquisa bibliográfica Pesquisa experimental (DOE)	Padovani (2014); Nacif <i>et al.</i> (2012); Shwaab e Pinto (2011); Gil (2010); Gil (2009); Morett (2003); Montgomery (1994); Werkema (1996)
Técnica de Coleta de Dados	Levantamento bibliográfico Entrevistas (fábrica e obra) Observação direta (fábrica e obra) Acompanhamento de experimentos	Gil (2015); Gil (2010); Miguel e Ho (2010)
Análise dos Dados	Problematização Indicação dos fatores Unidade experimental Indicação das variáveis Procedimentos Tabulação dos dados Análise dos dados (estatística) Descrição dos resultados Discussão dos resultados	Montgomery (2017); Padovani (2014); Nacif <i>et al.</i> (2013); Miguel e Ho (2010)

Esses experimentos forneceram subsídios para a proposta de um traço ideal, conforme visão geral da pesquisa, apresentada na Figura 1.

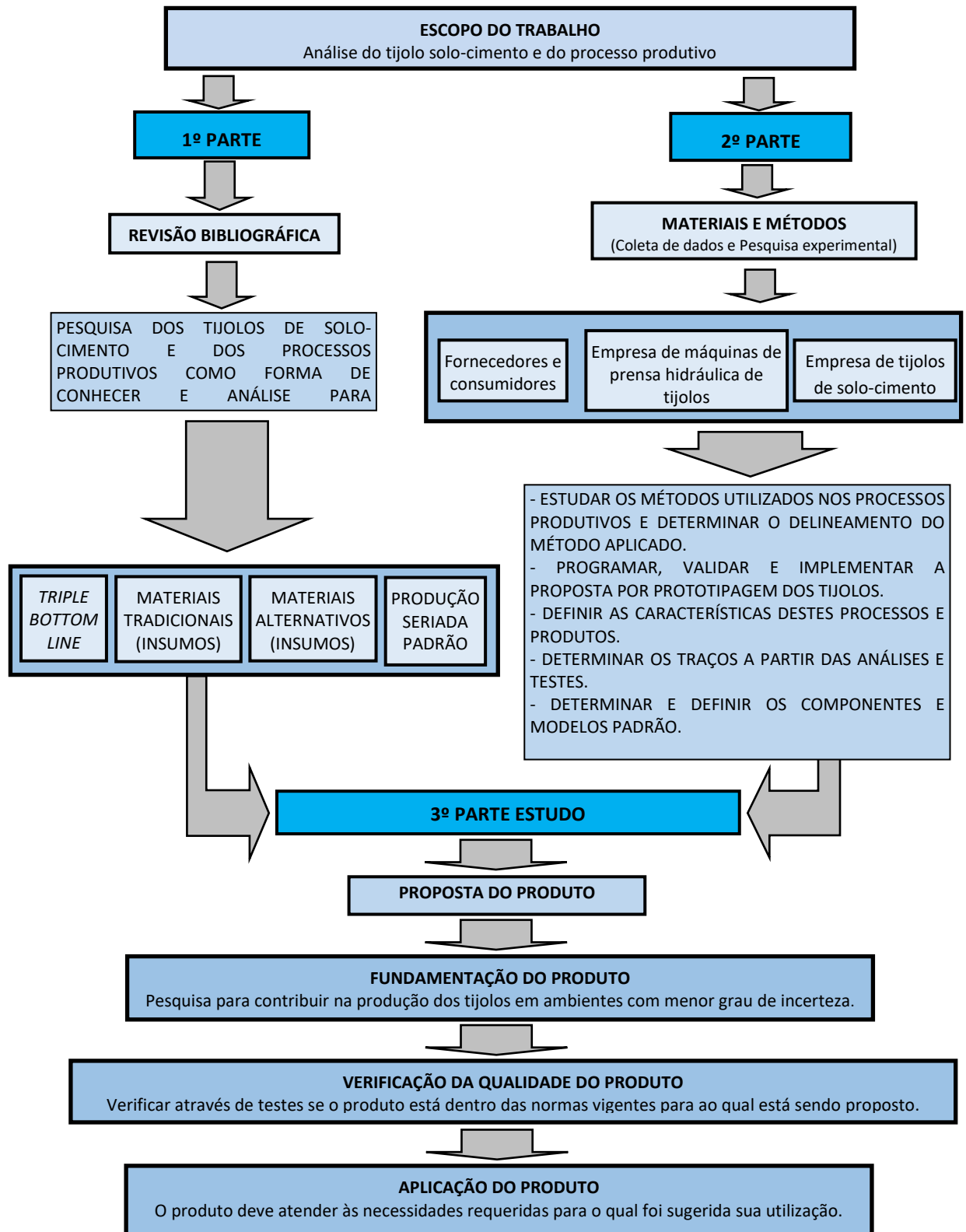


Figura 1 - Visão geral da pesquisa.

1.4. ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

A partir do projeto da pesquisa apresentado, os objetivos propostos e as contribuições esperadas, este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- No primeiro capítulo, é apresentada uma introdução à pesquisa realizada, seu desenvolvimento, as principais características, o problema da pesquisa, bem como a justificativa de sua escolha, relevância, ineditismo e originalidade. Nesta etapa, deve-se identificar os problemas e hipóteses da pesquisa, e descrever o objetivo geral e específico, visão geral e a estrutura do trabalho.
- O segundo capítulo, a partir de uma revisão de literatura, apresenta uma pesquisa conceitual sobre resíduos sólidos urbanos, sustentabilidade alinhada ao *TBL*, tijolos de solo-cimento, ciclo de vida, reciclagem e utilização de raspas de pneu e resíduos de marmorarias, assim como a aplicabilidade destes resíduos sólidos urbanos.
- O terceiro capítulo demonstra a abordagem metodológica empregada e detalha os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa.
- O quarto capítulo apresenta os resultados e aborda a avaliação da pesquisa a partir de análises dos resultados obtidos em consonância com a pesquisa literária realizada concomitante à pesquisa em laboratório, com suas devidas discussões para verificação e validação do produto.
- Por fim, o quinto capítulo, apresenta as conclusões, relacionando os resultados obtidos, como foi alcançado o objetivo, e as sugestões para futuros trabalhos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo contempla uma revisão bibliográfica da literatura existente sobre os assuntos abordados e relevantes para o presente trabalho, partindo do referencial teórico relativo aos seguintes tópicos: tijolos de solo-cimento; desenvolvimento sustentável; *TBL*; reciclagem a partir do descarte de marmorarias e reciclagem de pneus como agregados para tijolos de solo-cimento.

O estudo iniciou-se com o levantamento de artigos nas bases de pesquisa no intervalo dos anos de 2014 a 2019, considerando as seguintes associações de palavras: *i) soil-cement brick & waste rubber*; *ii) soil-cement brick & waste marble*; *iii) soil-cement brick & waste rubber & waste marble*. Entretanto, após o baixo número de artigos encontrados, expandiu-se o período em anos anteriores ao de 2014.

2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E *TRIPLE BOTTOM LINE*

A Agenda 21 é um Programa de ação baseado no Desenvolvimento sustentável redigido pela ONU no ano de 1992, durante o encontro RIO 92, envolvendo 179 países. Segundo este documento, o conceito de sustentabilidade, não está embasado apenas em premissas ambientais, o termo também está relacionado com a preservação e continuidade dos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

O desenvolvimento sustentável se apoia nas diretrizes da Agenda 21, determinada como uma ferramenta de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis que concilia proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (SÁ *et al.*, 2013), ao indicar: *i) oferecer habitação adequada*; *ii) promover, planejar e manejar sustentavelmente o uso da terra*; *iii) promover a integração da infraestrutura como água, saneamento, drenagem e manejo de resíduos sólidos*; *iv) promover atividades sustentáveis na indústria da construção*; *v) promover o desenvolvimento dos recursos humanos e da capacitação institucional e técnica para o avanço dos assentamentos humanos*.

A Agenda 21 tem a intenção de difundir o conceito de desenvolvimento sustentável ao estimular a promoção e a implementação por meio do envolvimento social participativo, estratégias e processos que favoreçam a conquista da sustentabilidade pela integração das dimensões socioeconômicas, político-institucionais, culturais e ambientais (MARTINS *et al.*, 2015).

O desenvolvimento sustentável consolida-se por ações que compreendem diversos setores, interagindo de forma global (BRASIL, 2010), pois é uma preocupação constante entre todos os setores produtivos, não sendo aceitável que gestores visem lucro e ignorem outras considerações, devendo entender a importância de incluir os anseios das partes interessadas para tomada de decisões (MCWILLIANS *et al.*, 2016).

O termo sustentabilidade se tornou uma premissa em quase todos os setores e atividades, podendo ser definido como a forma como as gerações atuais provêm suas necessidades sem comprometer gerações futuras (ELKINGTON, 1998), em conformidade com os aspectos do tripé econômico, social e ambiental, evitando cuidados apenas com uma particularidade do conceito, como exemplo, o aspecto ambiental.

Santos (2009) apresenta como conceito do desenvolvimento sustentável o empenho em harmonizar o desenvolvimento social e econômico com a conservação do meio ambiente, com ênfase em preservação ambiental a partir da racionalização dos recursos naturais, a participação da população local, a redução de desperdício e a reciclagem de resíduos, incluindo o fator econômico.

Pode-se citar o fator econômico no desenvolvimento sustentável, pois caso as empresas fiquem sem matéria-prima, possivelmente ficarão sem consumidor, de modo que estas empresas devem atuar por meio de uma visão sistêmica analisando as necessidades do processo produtivo e atenta aos efeitos ocasionados devido este processo, investindo em gestão e práticas de responsabilidade socioambiental (SÁ *et al.*, 2013), com o intercâmbio de informações de qualidade para conhecer economicamente custos e hipóteses reais de lucro para o negócio (LEE e LEE, 2017).

Portanto, verificar indicadores econômicos e ambientais é relativamente fácil comparado aos indicadores sociais, cujos elementos são mais complexos e difíceis de mensurar, a exemplo as marcas (pegadas) que o homem deixa na natureza, pois são indicadores da desigualdade e fornecem uma ideia destes rastros, mas não fornecem indicadores diretos sobre o estado e deterioração do ambiente (MILNE e GRAY, 2013).

O *TBL* se alicerça no tripé econômico, social e ambiental, embasado nos quesitos econômicos com o envolvimento de todas as pessoas no ciclo produtivo (FLEURY, 2008; SOARES, 2016), as relações interpessoais e de meio ambiente, assim como os aspectos culturais da comunidade e dos envolvidos na produção de bens e produtos (JACKSON, 2003 e ELKINGTON, 2013).

Além do tripé da sustentabilidade, os conceitos do *TBL* são amplos, pois podem ser aplicados em pequena escala, a exemplo de uma casa, ou grande escala, como exemplo empresas ou cidades (ELKINGTON, 1997), e se destaca no setor corporativo, ao propor minimizar impactos mensurando o desempenho econômico, ambiental e social (IDEA, 2009).

À vista disso, o *TBL* se fundamenta no conceito dos três P's- *People*, *Planet* e *Profit*, ou Pessoas, Planeta e Lucro (SLAPPER e HALL, 2011), que apresenta:

- i) People / Pessoas* – Tratamento do capital humano com ambiente de trabalho agradável sem comprometer o entorno com problemas como educação e violência.
- ii) Planet / Planeta* – Análise com relação ao pequeno, médio e longo prazo, pois toda atividade econômica tem impacto ambiental negativo, com intenção de amenizar esses impactos e compensar o que não é possível amenizar.
- iii) Profit / Lucro* – Resultado econômico positivo de uma empresa, considerando os outros dois aspectos, ou seja, não adianta lucrar se isso irá devastar o meio ambiente.

A partir destes princípios, o *TBL* objetiva a gestão ambiental com cadeias de fornecimento e mercado, ao integrar estratégias corporativas com intenção de gerar lucros, integrando as pessoas e preservando o meio ambiente (GIMENEZ *et*

al., 2012). Busca também a equidade social e estabilidade econômica, por meio de um equilíbrio na distribuição de riquezas, almejando benefícios ambientais sem falência dos sistemas ecológicos e sociais (MILNE e GRAY, 2013).

Aplicar o conceito do *TBL* ajuda a reconhecer os limites do crescimento e equilíbrio entre os valores ambientais, sociais e econômicos, para gerar relatórios e resultados. Deste modo, conscientizar a comunidade envolvida pode definir e determinar processos buscando eficiência para melhores resultados (KAMARUDDIM *et al.*, 2016).

O *TBL* se alicerça em incentivar o desenvolvimento de comunidades sustentáveis, a fim de que se torne um indexador de prosperidade econômica com qualidade ambiental e justiça social, valorizando não somente os lucros, mas valorizando também o planeta e as pessoas, com ênfase no meio ambiente, os estilos de vida e os meios de subsistência (VANCLAY, 2004), ao que sugere:

- i)* Avaliar os impactos ambientais, para propor ações condizentes com as premissas levantadas;
- ii)* Avaliar o impacto social, para poder identificar as consequências do desenvolvimento social apresentado;
- iii)* Avaliar o impacto da saúde dos envolvidos, tanto a saúde ambiental como da população envolvida;
- iv)* A integração ambiental com a responsabilidade social, a partir da gestão de processos;
- v)* Apresentar um plano estratégico ou projetos com os princípios no desenvolvimento sustentável.

O setor da construção civil consome recursos naturais mais do que qualquer outro setor, ao que Sharrard *et al.* (2008) afirmam que a construção civil apresenta impactos significativos sobre o meio ambiente, e torna-se difícil que esse setor alcance o desenvolvimento sustentável sem uma abordagem que questione os processos e incentive o uso do *TBL* para conservação destes recursos, sendo também a maior geradora de resíduos sólidos urbanos, e por consequência, deve passar por mudanças (KUCUKVAR e TATARI, 2013).

Como exemplo, podem-se citar os Estados Unidos da América (EUA), que consome 80% de todos os recursos naturais ou industrializados de materiais empregados na construção civil (KUCUKVAR e TATARI, 2013) e nos sistemas de infraestruturas (GRADEL e ALLENBY, 2010), sendo necessárias abordagens relativas à conservação e gerenciamento destes recursos.

Conservar e gerenciar recursos exige decisões sobre planejamento estratégico para identificar gargalos, e desta forma, estabelecer bem o problema e suas restrições, para alcançar uma distribuição igualitária e mais eficiente entre os envolvidos (KUCUKVAR e TATARI, 2013).

Os resultados devem ser estimados a fim de indicar valores, e devem ser realizadas abordagens formais regularmente, para que possa haver a igualdade e minimização de custos, considerando a responsabilidade social de conservação ambiental (HALPERN *et al.*, 2013).

Para Santos (2009), as empresas devem constituir capital social a partir da eficiência ambiental e da responsabilidade social, baseadas na confiança a partir de ações com intuito de elevar ganhos financeiros e sociais, com planejamento da conservação dos recursos naturais, a fim de minimizar os impactos ambientais.

Devido a estas características, o desenvolvimento sustentável pode ser incorporado contiguamente ao seu tripé conceitual, por meio das parcerias, de modo que seja possível uma interação entre distintas atividades econômicas, sociais e ambientais (ELKINGTON, 1998). Propor o *TBL* pode evitar a fragmentação dos setores, pois segundo Renukappa *et al.* (2012), a construção civil esta alinhada na dimensão ambiental, o setor de transporte na dimensão econômica e as organizações sem fins lucrativos na dimensão de responsabilidade social.

Esta fragmentação pode resultar em conflitos de interesse, e por falta de planejamento, não alcançar os níveis almejados com relação à responsabilidade social, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental (MOORE, 1996).

Estando os parceiros com os mesmos objetivos, a empresa poderá ser mais sustentável e obter maior permanência no mercado, e essas parcerias podem ser compreendidas como “coopetição”, pois ao não competir, as organizações podem aprimorar a confiabilidade e dividir responsabilidades entre si, visto que construir o fator confiança se define o futuro empresarial não somente de capital econômico, mas de capital social (JACKSON, 2003).

Segundo Segantini e Wada (2011), aplicar técnicas de gestão sem integração sugerida no *TBL* pode gerar colapsos e o sistema todo pode ficar comprometido, de modo que o conceito não deve ser uma ferramenta de contabilização, mas uma filosofia que aborda a responsabilidade social das empresas priorizando o crescimento econômico, ambientalmente compatível, socialmente justa e economicamente rentável, com condições de permanência no mercado e mantendo a competitividade (HALL, 2011; SAVITZ, 2013).

Para que possam ser aplicados estes conceitos no setor da construção civil, que além de consumir grande quantidade de insumos, gera consequentemente muitos resíduos (SILVA, 2015), as mudanças devem ser culturais, e não somente em ferramentas de gestão.

Conforme afirma Figuerola (2008), projetar com princípios sustentáveis deve considerar o ciclo de vida, o consumo de energia, de água e de insumos, pois o profissional deve elencar as responsabilidades sociais, a eficiência energética e consciência ecológica. Busca-se alcançar eficácia da edificação com o uso de materiais com menor impacto ambiental, menor descarte e desperdícios, menor risco ambiental e maior responsabilidade social, pois ao inserir conceitos integrando projetos, processos e produtos, pode minimizar custos na obra (SILVA, 2015).

Portanto, a reciclagem de resíduos sólidos, sejam manufaturados ou industriais, tais como aqueles produzidos durante o processamento de pedras ornamentais, é um procedimento relevante para mitigar a possibilidade de poluição ambiental (CARVALHO *et al.*, 2014).

O uso de resíduos de construção e demolição pode ser usado com sucesso para produzir tijolos, que desenvolvem propriedades pareadas aos de tijolos de construção convencionais (DAKWALE e RALEGAONKAR, 2014).

Ao empregar resíduos sólidos urbanos, a proposta pode ser com o intuito de desenvolver tijolos com peso leve a partir de materiais residuais, como as cinzas de bio-bríquete, que se apresentam como um material de construção adequado e de forma alternativa para não carregar estruturas de base (SAKHARE e RALEGAONKAR, 2017).

Usar resíduos e materiais reciclados em diferentes aplicações de construção se torna necessário para os dias atuais, pois são os resíduos (subprodutos gerados a partir de algumas atividades industriais) que provocam impactos ambientais, pois novos materiais são essencialmente necessários para resolver o problema de escassez dos recursos naturais (AHMED, 2014).

2.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O crescimento da população e a demanda social por construções de qualidade implicam em um agravamento dos problemas ambientais, pois a construção civil utiliza mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta na produção e manutenção do ambiente construído, de modo que o consumo na extração de recursos naturais (que processadas industrialmente requer energia e implica em emissões de gases do efeito estufa após extração) é apenas o início do problema que se estende pelo ciclo de vida dos produtos do setor (CBCS, 2014).

A construção civil consome recursos naturais mais que qualquer outro ramo industrial, e também a maior geradora de RSU, o que torna difícil atingir o DS sem que o setor passe por transformações, sendo um sistema que evoluiu de sistemas “naturais” para “artificiais”, ao que deve se articular com eficiência ante a ecologia, a informação, a comunicação e o equilíbrio do ecossistema para assegurar sobrevivência (CAMPOS, 2009).

A maioria das práticas de construção atual não está de acordo com os princípios ideais de sustentabilidade. Os esforços de construção sustentável nos países em desenvolvimento não tem sido bem sucedidos, devido a uma série de barreiras para a sua implementação, sendo uma delas a barreira cultural, resultando em desafios na mudança de paradigmas no setor que seja favorável ao meio ambiente, socialmente responsável e economicamente favorável (DAVIES e DAVIES, 2017).

O setor da construção civil, não quantifica facilmente os impactos ambientais dos edifícios à medida que acumulam durante o processo construtivo, ao aferir e gerenciar os impactos ambientais do ciclo de vida desde o projeto, para possibilitar que a execução de edifícios atenda aos valores esperados de forma confiável e eficiente ante os impactos ambientais (emissão de carbono e/ou gasto energético) associados com extração de material, fabricação, transporte e construção semelhante aos métodos de análise de variância de custo e cronograma, através de orçamentos e de medição de impactos durante a construção (RUSSELL-SMITH e LEPECH, 20150).

Os profissionais da construção devem desempenhar um papel fundamental na concepção e na implementação de projetos de construção, sendo necessária a cooperação e formação colaborativa entre os profissionais da construção, a fim de impulsionar a implementação da construção sustentável (DAVIES e DAVIES, 2017).

A construção com princípios sustentáveis considera o ciclo de vida dos materiais utilizados desde o projeto ao propor menor consumo (energia, água e de demais recursos naturais), operação e manutenção, ao mensurar os impactos causados no meio ambiente e na saúde humana (FIGUEROLA, 2008).

Além de integrar profissionais, deve-se considerar a integração entre a captação dos insumos (matéria-prima), ao ponderar os desperdícios no setor com perdas ou custos de deslocamento de transporte, e os problemas ocasionados através dos resíduos de construção e demolição, com impactos ambientais significativos (CBCS, 2014).

A reciclagem destes resíduos é ainda uma exceção no setor, pois uma parcela significativa dos resíduos de construção e demolição é destinada na malha urbana ou em aterros ilegais, gerando custos à sociedade e agravando os problemas ambientais. (CBCS, 2014).

Substituir matéria-prima não renovável, a exemplo do agregado fino natural (areia de rio) por produtos tais como os resíduos de corte de rochas ornamentais em concreto convencional, pode ser uma atividade que valoriza a construção sustentável. A investigação do concreto com diferentes porcentagens deste resíduo indicou que aproximadamente 30% em volume de massa é viável, enquanto o desempenho do concreto melhora significativamente, apresentando benefícios para a construção sustentáveis e reduzindo o efeito prejudicial sobre o ambiente devido à eliminação de resíduos (SINGH, 2016).

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição pode depender de políticas de incentivo à produção e ao consumo, e também depender da inovação em sistemas construtivos racionalizados, como a construção modular, incentivando a inovação e a industrialização e combatendo a informalidade (CBCS, 2014).

O uso de técnicas de construção modular para projetos de edificações pode render benefícios econômicos, ambientais e sociais significativos ao longo da atividade projetual (projeto e execução de edificação), com benefícios sustentáveis no ciclo de vida do projeto, desde a produção e extração de materiais, passando pela construção, operação e manutenção, até o estágio de fim de vida ou de desativação (BENSON e RANKIN, 2016).

A falta de coordenação modular dos projetos e dos componentes, o baixo grau de industrialização e as deficiências de gestão em todo o processo podem gerar perdas, assim como as perdas de materiais nas fases de transporte, de comercialização e na construção agravam os impactos ambientais, aumentando custos e o volume de resíduos (CBCS, 2014).

A coordenação modular apresenta benefícios ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, passando pelo o custo inicial mais baixo e a entrega no local da construção, com resultados positivos de eficiência sustentável de 16,8% sobre um método convencional de construção apresentados pela redução das emissões de gases com efeito de estufa, o uso de energia não renovável, menor produção de resíduos e melhora na saúde e segurança dos trabalhadores (BENSON e RANKIN, 2016).

A construção modular tem sido reconhecida como um dos principais métodos construtivos para a construção sustentável, de modo que destacaram em seu estudo (KAMALI e HEWAGE, 2017) que os indicadores da dimensão social da sustentabilidade estão aumentando em relação à dimensão ambiental, e que dimensão econômica da sustentabilidade continua a ser a preocupação entre os profissionais da indústria da construção, contrastando a sustentabilidade da construção modular e com a construção convencional.

Discussões a respeito de sistemas de produção habitacional com novas tecnologias e formas de gestão influenciadas pela autoconstrução e pelas questões ambientais destaca-se o trabalho de profissionais que apresentam propostas com melhores condições de moradia diferenciadas dentro de cada contexto específico (CAMPOS, 2009), a exemplo da disponibilidade de dinheiro, de materiais e de mão de obra.

Dentre as diferentes práticas construtivas, podem ser utilizados sistemas de execução de empreendimentos a partir de técnicas construtivas “autoconstrução”, onde se pode construir sua própria casa com materiais da região, e se baseia como ferramenta a utilização e execução de sistemas construtivos executados pelos próprios usuários (futuros moradores) com organização e ações planejadas para saber quando usar determinado material ou equipamento e se obter melhor resultado (LENGEN, 2004).

Para que possa ocorrer de maneira apropriada, é necessário um estudo relativo à necessidade do usuário e do desenvolvimento de técnicas aplicadas na

construção, com mecanismos para sua produção com possibilidade de ser desenvolvido em escala.

Na esfera de autoconstrução, deve-se levar em conta a autogestão, que possui conceitos inversos à lógica da empresa convencional e se baseia no valor atribuído à democracia e à igualdade dentro dos empreendimentos, ideia está em construir uma economia que depende primordialmente dela mesma, de sua disposição de aprender e experimentar, de sua adesão aos princípios da solidariedade, da igualdade e da democracia e de sua disposição de seguir estes princípios na vida cotidiana, se baseando na economia solidária (NASCIMENTO, 2004)

A construção de uma unidade habitacional é o resultado de um conjunto de ansiedades e propostas, não podendo ser isolada a concepção do projeto. Deve ser uma ação coletiva, na qual os profissionais e os usuários se relacionem em harmonia desde o desenho ainda no projeto e a execução no canteiro de obras (CAMPOS, 2009).

2.3. TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Utilizado desde os primórdios da humanidade, o solo se aplica tanto para moldar objetos, a exemplo da fabricação de utensílios domésticos, quanto para a construção de moradias como matéria-prima nas mais variadas técnicas construtivas, desempenhando importante papel na sociedade devido suas características como durabilidade, custos e trabalhabilidade. (ZHANG *et al.*, 2018; PEREIRA e PEZUTTO, 2010).

Empregar este material na construção civil se apresenta como um grande aliado contra o desperdício de materiais no setor, pois 90% da massa de resíduos da construção civil gerados no Brasil são compostos por materiais de origem mineral (SEGANTINI e WADA, 2011).

O solo-cimento é um produto endurecido a partir da compactação solo, cimento e água, em proporções denominadas traço (NBR-12023), ao que estudos demonstram a viabilidade técnica e econômica destes tijolos como elementos de alvenaria (SMITH, 1974).

O aproveitamento de matéria prima como o solo, e em alguns casos, os resíduos da própria construção civil, pode oferecer benefícios financeiros e possibilitar a utilização de técnica construtiva diferenciada da convencional, resultando na economia de materiais e tempo de execução, diminuindo assim o passivo ambiental. (SANTANA FILHO, 2018).

Devido a novas técnicas e materiais de construção, por volta do século XIX, o solo começou a ser visto como material de segunda categoria e passou a ser utilizado, quase que exclusivamente, nas áreas rurais (LIMA, 2010).

Conhecer as características enquanto matéria-prima e seus processos construtivos se tornam importantes nas construções com solo, e ao considerar os benefícios que este material consegue proporcionar ao escolher os materiais utilizados, vários fatores devem ser avaliados, sendo improvável a determinação de regras absolutas para algumas situações (FRAGA *et al.*, 2016).

Esta técnica demonstra benefícios tais como inclusão de mão-de-obra local, redução do custo de material de construção industrializado e conseqüentemente seu consumo, aliado com o consumo consciente de matéria prima local (CANOVA *et al.*, 2007).

O uso do solo na construção oferece benefícios ao utilizar recursos naturais sem agredir com intensidade o meio ambiente, pois requer baixo consumo na extração da matéria-prima e dispensa o processo de queima e elimina a necessidade de transporte ao usar solo local (SOUZA *et al.*, 2011).

Souza *et al.* (2006), ressaltam vantagens da utilização de tijolo de solo-cimento desde sua fabricação até seu emprego no canteiro de obras, pois seus equipamentos de execução e materiais utilizados são simples e com baixo custo,

possibilitando manipulação no próprio canteiro de obras, assim como pode melhorar a qualidade térmica utilizando este material (MORAIS *et al.*, 2008).

A produção de tijolos solo-cimento apresentou solos com viabilidade com limites de plasticidade adequados, desde que sejam feitas correções com aditivos para minimizar efeitos como limites de liquidez e densidade de partículas (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Adicionar aditivos plastificantes pode reduzir a porosidade do tijolo de solo-cimento tornando-o mais denso, melhorando a compactação e resistência à compressão, visando melhor trabalhabilidade (JIN *et al.*, 2018).

Segundo a ABCP (2017), utiliza-se teores de cimento entre 5% a 10% do peso do solo para estabilização e posterior compactação e “cura” a fim de alcançar a resistência mínima necessária para o composto.

O uso de tijolos solo-cimento com 5% de cimento na mistura apresentou-se viável (SMITH, 1974), já os tijolos solo-cimento com adição de 7,5% de cimento na mistura podem ter aumentada sua resistência em até quatro vezes, (AKINMUSURU, 1984).

Estudos demonstram que tijolos de solo-cimento com teores entre 7,5% a 10% de cimento ou menos, precisam de proteção contra a chuva e umidade a fim de garantir a sua durabilidade, e podem ser utilizados em ambientes internos ou externos bem protegidos (VALLE, 2001).

Produzir tijolos estabilizados com terra apresentaram que o teor de cimento é atribuído à formação de partículas que preenche os vazios na mistura, no entanto, o teor de cimento maior de 10% não é recomendado, pois não apresenta vantagens econômicas (MURMU e PATEL, 2018).

A adição de cimento com teor de 15% em misturas de tijolos solo-cimento, alcançou os parâmetros estabelecidos pelos padrões brasileiros, com média 2,33 MPa e todos os valores individuais acima de 1,7 MPa (ALEXANDRE *et al.*, 2015).

Outra possibilidade neste processo construtivo é a racionalização através do uso de tijolos modulares (estrutural e não estrutural) por meio da prensagem da mistura, com a intenção de reduzir desperdícios, resultando em maior rapidez no processo construtivo, economia de materiais e de mão-de-obra (SILVA e CASTRO, 2011).

No processo da produção, o volume de água de amassamento deve ser adequado para alcançar o teor de umidade ideal para sua estabilização e boa trabalhabilidade, garantindo que o material atinja densidade e resistência mecânica apropriada para utilização do produto (GRANDE, 2003).

Dentre as características do uso de tijolos solo-cimento, estes podem reduzir o consumo de argamassas para assentamento, por ter características de encaixes tipo "macho-fêmea", assim como a passagem de instalações hidráulica e elétrica, além de melhorar sua eficiência energética (conforto térmico e acústico), além de ser um material totalmente incombustível. Por formar dutos, permite que o ar dentro das paredes proporcione um conforto térmico em dias quentes e frios, além de isolar e proteger a parede de ruídos externos (FRAGA, 2016), conforme Figura 2.



Figura 2 - Modelo de tijolo solo-cimento.
Fonte: Adaptação da Cartilha Eco produção – Tijolos ecológicos (2017).

Em virtude dos avanços tecnológicos, materiais reutilizáveis podem ser incorporados ao tijolo solo-cimento, aumentando sua resistência e minimizando o passivo ambiental e custos, com a vantagem de usar praticamente qualquer tipo de solo, podendo ser extraído do próprio local da obra, com o cuidado de não ser utilizados solos que contêm matéria orgânica (ABCP, 2009).

O adobe é um processo no qual os tijolos não passam por queima como os tijolos de barro cozido, pois sua cura não necessita de equipamentos que geram calor, por isso, considera-se ambientalmente amigável por ser compactado manualmente a frio, utilizando somente solo e água, e possuir vantagens como eficiência energética e redução de resíduos na obra devido a sua biodegradabilidade (CHRISTOFOROU *et al.*, 2016).

O processo de produção de tijolo ADOBE é milenar, pois o emprego do solo como material construtivo é antigo, principalmente no meio rural ou de difícil aquisição de materiais de construção (ALCÂNTARA *et al.*, 2012), tendo perdido espaço para técnicas modernas com a industrialização da construção.

Com a evolução das técnicas construtivas, a técnica do ADOBE avançou para os tijolos solo-cimento, que se consolida como uma alternativa atraente ao utilizar terra, cimento e água, com possíveis adições de outros materiais agregados, evitando a produção de tijolos com resíduos naturais em períodos de grande umidade (MENDONÇA e FERREIRA, 2018).

Segundo Silva (2004), na utilização do sistema adobe, pode haver redução de 95% de energia gasta no processo produtivo, em razão da utilização de recursos renováveis locais (terra e palha local como exemplo), bem como permite reduzir em até 75% do consumo de cimento e redução em 40% do total de consumo de cimento para revestimentos.

Após a estabilização da mistura, o material resultante é acomodado em fôrmas apropriadas e prensadas, que resultam nos tijolos produzidos a frio, e devem ser curados por sete dias à sombra, ficando assim prontos para serem aplicados conforme sua solicitação (LENGEN, 2004).

Praticamente todos os tipos de solo podem ser utilizados em construções com técnicas de tijolos de ADOBE, pau a pique ou taipas e tijolo solo-cimento (LENGEN, 2004). Os solos mais apropriados possuem teor de areia entre 45 e 50%, sendo necessário avaliar a proporção existente entre argila e areia, pois terra rica em argila deve ser balanceada com areia (SEGANTINI e WADA, 2011).

Para poder fazer uma avaliação “*in loco*” do solo, pode ser verificada a cor: **i)** se negra (gordurosa) ou se branca (arenosa), não servem para adobes; **ii)** se vermelha ou castanha, servem para adobes e; **iii)** se amarelo-claro, são as ideais para adobe, assim como não dever ter odor similar a mofo, pois é terra vegetal e possui matéria orgânica. Se pressionada e não ranger é argiloso, ranger pouco é limoso e ranger muito é arenoso (MORETT, 2003).

Lengen (2004) cita a possibilidade de se misturar dois ou mais solos para melhor estabilização, e destes solos, avaliar quais necessitam de menor teor de cimento, assim como evitar solos ricos em sal, por exigir maior quantidade de cimento para a estabilização.

Segundo Fraga (2016), a durabilidade dos sistemas construtivos com solo-cimento depende de análises de laboratório que avaliem a retração do composto e a expansividade do solo na mistura.

Para o teste de retração, uma mistura maleável do solo é inserida em uma caixa (madeira), com dimensões de 4x4x40cm, apresentado na Figura 3.

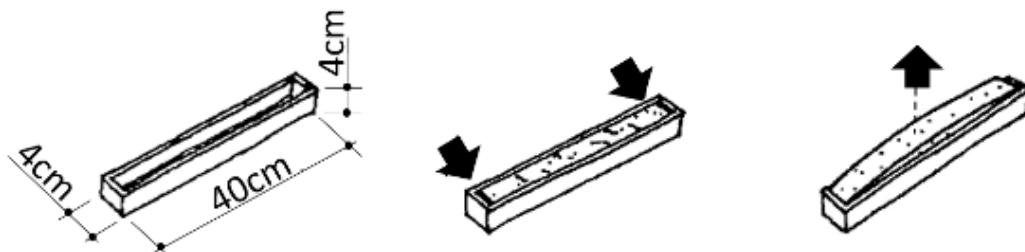


Figura 3 - Teste de retração do solo.
Fonte: Lengen (2004).

Deve-se deixar a amostra secar à sombra, pois caso a amostra encolha, esta medida não deve ser maior que 1/10 do comprimento, neste caso quatro centímetros e, caso ela inche no centro, esta mistura deve ser descartada (LENGEN, 2004). Estes critérios para a escolha do solo e controle da umidade de compactação da mistura sugerem procedimentos práticos adotados por meio do teste da caixa, também utilizados para desenvolver os tijolos de adobe, moldado em formas de madeira, que após desenformado, fica exposto ao sol para secagem (MORETT, 2003).

Para avaliar o solo utilizado, deve-se destorroar e peneirar uma porção de solo, misturando água até o material grudar na lâmina da colher de pedreiro, e acondicionar o material em uma caixa de madeira com as dimensões internas determinadas (LENGEN, 2004), demonstradas na Figura 4.

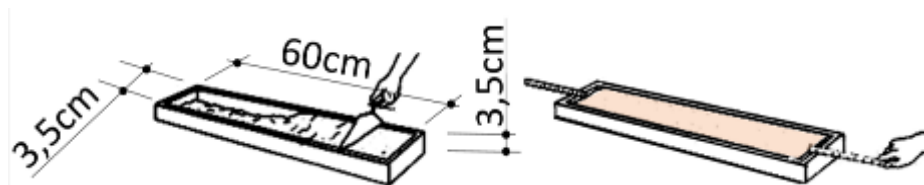


Figura 4 - Teste de caixa e verificação da retração do solo.
Fonte: Lengen (2004).

Após a moldagem, a caixa deve ser guardada em ambiente fechado, abrigada do sol e da chuva durante um período de sete dias para ser feita a leitura da retração nas extremidades e nas trincas, no sentido do comprimento da caixa, o qual a soma não deve ultrapassar 2 cm (LENGEN, 2004; NEVES, 2009).

Pelo fato destes tijolos serem produzidos no sistema de “ADOBE”, torna-se possível propor mais de uma técnica produtiva para um mesmo fim, que é desenvolver um tijolo ecológico nos padrões baseados nos princípios sustentáveis utilizando qualquer tipo de material agregado.

A incorporação de aglomerantes na fabricação de tijolos solo-cimento evoluiu conforme os objetivos (resistência e aparência) e processos produtivos (manual ou mecânico).

Magalhães (2010) constata em seu estudo que incorporar de elementos ativos como a cal ou o cimento, melhora a estabilização e a trabalhabilidade da mistura, com benefícios como aumento da resistência mecânica e diminuição da absorção de umidade.

Os tijolos solo-cimento são produzidos a frio e curados por sete dias à sombra (NBR-0833), de modo que podem ser reutilizados na confecção de novos tijolos se triturados imediatamente após seu desmolde. Por outro lado, os tijolos de barro cozido são queimados, não permitindo, portanto, o reaproveitamento no processo produtivo quando se quebram (SEGANTINI e WADA, 2011).

Os tijolos devem ser submetidos a testes de resistência à compressão, conforme NBR-08492, que deve apresentar resistência a compressão média de 2,0 MPa. Nenhum valor individual dos tijolos solo-cimento deve ser inferior a 1,7 MPa (MPa=unidade de medida para determinar a resistência característica do concreto à compressão), valor exigida pela norma.

A produção pode ser feita com valores de massa unitária ou volume dos materiais. Apesar de usual, medidas em volume não proporciona um controle eficaz de materiais empregados na mistura, e para maior confiabilidade, pode-se utilizar cálculos com a massa unitária dos materiais (GRANDE, 2003).

Rolim *et al.* (1999) observaram que, ao adicionar cimento na proporção de 8%, obteve-se ganho de resistência de 3,2 MPa à compressão simples, conforme NBR-08492, e valor médio de absorção de água após sete dias de cura de 15,39%. Ao adicionar teor de 7% de cimento, Vieira Neto (2012) alcançou 2,91 MPa no teste de resistência a compressão em corpos de prova cilíndricos.

A utilização de tijolos solo-cimento proporciona redução de desperdícios e do volume do entulho gerado, com uma redução entre 30% a 40% no custo final de uma obra, por padronizar dimensões, reduzir a argamassa de assentamento e eliminação de revestimentos (GOMES, 1980), além da economia em 70% de concreto e argamassas e de 50% em ferragens (FRAGA, 2016).

Por fim, a utilização do tijolo solo-cimento é vantajosa devido a redução de desperdícios e maior rapidez na produção, economia de materiais e de mão-de-obra, proporcionando a racionalização através do uso de tijolos modulares e prensagem da mistura a frio.

2.4. SOLO-CIMENTO NAS EDIFICAÇÕES

A utilização do solo na construção civil pode ser efetuada com técnicas construtivas como o pau a pique, a taipa de mão, a taipa de pilão ou assentados com tijolos maciços por sobreposição ou encaixes (HEISE, 2004).

Em razão do advento de novas técnicas e equipamentos por meio da produção de tijolos compactados ou blocos prensados modulares, atualmente se percebe uma maior aceitação do mercado.

Nos EUA, os primeiros estudos sobre uso de solo-cimento foram desenvolvidos instituindo-se a relação entre umidade e massa na compactação da mistura. Foi incentivado o desenvolvimento do solo-cimento para diversos tipos de construções, sendo que a *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, normatizou ensaios técnicos nos EUA e difundiu para a Europa, Inglaterra e América do Sul (MIELI, 2009).

Conforme a Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico (ANITECO, 2015), os primeiros estudos acerca da estabilização em solo-cimento no Brasil foram em meados de 1941 e desenvolvidos com paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento pela Associação Brasileira de cimento Portland (ABCP) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

Segundo Souza *et al.* (2006) as vantagens de se utilizar tijolo solo-cimento são: *i)* produção com o próprio solo local e no canteiro de obras; *ii)* uso mínimo de argamassa de assentamento devido a regularidade dos tijolos; *iii)* dispensar o uso de revestimento; *iv)* não consumir combustível na fabricação por ser prensado à frio e; *v)* utilizar de mão de obra local.

Diferentes são os métodos de produção para elementos de solo-cimento, podendo ser prensados, ser vibrados (por vibrações das fôrmas) e auto adensáveis (ação do peso próprio). Todos os métodos podem receber adições de plastificantes para aumentar sua trabalhabilidade, podem receber adição de finos e/ou maior teor de cimento, melhorando suas características no estado fresco como no endurecido (LLAJARUNA e ANTONIO, 2017).

Ao propor utilizar tijolos solo-cimento, deve-se trabalhar com processos racionalizados desde a concepção do projeto, pois na maioria dos casos, os tijolos são modulares, e ao utilizar este sistema, indicam-se processos e técnicas construtivas com princípios de sustentabilidade (CAMPOS e SILVA, 2012).

Estas técnicas construtivas visam tanto o desenvolvimento de um sistema de construção de baixo custo, como também recomendações baseadas nos três pilares da sustentabilidade ao sugerir ser ambientalmente compatível, socialmente justo e economicamente rentável, e desta forma, incentivar a produção e tecnologias limpas, alinhados ao *triple bottom line* (HALL, 2011; SAVITZ, 2013).

Ao indicar um sistema construtivo com princípios sustentáveis, Figuerola (2008) considera o ciclo de vida dos materiais utilizados desde o projeto, e assim garantindo um menor consumo de energia, de água e de outros recursos naturais para construção (NÓBILE, 2003; ROCHA e JOHN, 2003).

Dentre as vantagens da utilização de tijolos de solo-cimento pode-se citar a economia de materiais. A partir da mistura homogênea compactada, curada e endurecida de solo, de cimento e da água, pode-se proporcionar uma redução de 30 a 40% no custo final de uma obra (SEGANTINI e WADA, 2011).

Através de estudos realizados, técnicas e propostas embasadas no desenvolvimento sustentável podem reduzir os custos de obras em aproximadamente 25%, ao que pode reduzir significativamente o uso de matéria prima não renovável nas construções (KATS *et al.*, 2010).

Ao empregar apenas conhecimentos empíricos na produção dos elementos cimentícios pode tornar difícil mensurar o uso de materiais, a capacitação do pessoal e os procedimentos produtivos, desperdiçando materiais, dificultando a replicação dos processos e a validação dos produtos.

2.5. ELEMENTOS CIMENTÍCIOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS

A incorporação de materiais de descarte (resíduos sólidos urbanos) como agregados na mistura para a fabricação de tijolos de solo-cimento pode melhorar a resistência mecânica dos tijolos solo-cimento.

Diferentes estudos proporcionam a validação e aprimoramento de tais técnicas e porcentagens dos elementos, viabilizando a aplicação do produto final como material de construção, pois empregar diferentes materiais residuais pode ser uma vantagem na produção de tijolos solo-cimento, e podem acarretar em redução dos impactos ambientais.

Como resultado do estudo de Kharun e Svintsov (2017) sobre concretos, estabelece-se que a resistência à compressão não depende somente da relação do agregado e da mistura, mas também das condições de temperatura e umidade de cura, pois o agregado mineral contribui para a ativação da hidratação do cimento e melhora da resistência à compressão do material.

Ao aplicar aditivos plastificantes na mistura, pode-se aumentar a resistência à compressão, ao que a relação à hidratação dos materiais utilizados na confecção de tijolos solo-cimento, diferentes fontes de água e métodos de cura, apresentam pouca variabilidade nos resultados do teste de resistência à compressão e de absorção de água e atendem aos valores determinados pela norma vigente (CAMPOS *et al.*, 2018)

Os materiais residuais devem ser processados para que possam ser determinados entre agregados graúdos ou miúdos, com peneira padrão de 4,75 mm para separar o material fino e grosso, os separados os resíduos recicláveis, ou seja, aço, plástico, etc. (DAKWALE e RALEGAONKAR, 2014).

A Associação Brasileira de Cimento Portland recomenda um mínimo de 3,5% de cimento e um máximo de 10% na composição volumétrica do tijolo de solo-cimento. Souza *et al.* (2011) utilizaram em seu trabalho aproximadamente 12,5% de cimento, sendo que este teor aumenta o custo da mistura, porém, ao adicionar pó de pedra à mistura, o teor de cimento utilizado foi reduzido, sem prejuízos à resistência do tijolo.

Deste modo, elaborou-se os tipos de materiais residuais aplicados na produção de tijolos solo-cimento conforme, seja para utilização de RSU em tijolos solo-cimento ou em concretos, de modo que possa ser efetuada uma análise comparativa do uso destes materiais, verificado no Quadro 2.

Quadro 2 - Quadro síntese dos trabalhos sobre tijolos com resíduos.

MISTURA	AGREGADOS (RESÍDUOS)	PUBLICAÇÕES AUTOR (ANO)
Solo-cimento	Borracha	AL-Fakih (2018); Campos e Campos (2018); Yadav e Tiwari (2018); Yadav e Tiwari (2017); Campos e Campos (2015); Pereira <i>et al.</i> (2015); Nacif <i>et al.</i> (2013); Namboonruang (2013); Namboonruang (2013); Promputthangkoon e Karnchanachetanee (2013); Özkul e Baykal (2007)
	Concreto	Kharun e Svintsov (2017); Magalhães (2010); Souza <i>et al.</i> (2008); Souza <i>et al.</i> (2006)
	Cerâmicos	Dakwale e Ralegaonkar (2014); Silva (2014); Magalhães (2010); Dallacort <i>et al.</i> (2002)
	Alvenarias	Martinez e Goto (2010); Kangrang (2010); Magalhães (2010); Guevara e Fukuyama (2009); Moreira <i>et al.</i> (2009); Albuquerque <i>et al.</i> (2006); Ferraz e Segantini (2004); Lima Junior <i>et al.</i> (2003); Assis <i>et al.</i> (2010)
	RCD	Campos <i>et al.</i> (2018); Acchar e Marques (2016); Martins <i>et al.</i> (2016); Reis <i>et al.</i> (2018); Segantini e Wada (2011)
	Grits	Siqueira e Holanda (2015); Siqueira e Holanda (2013); Miranda <i>et al.</i> (2011)
	Resíduos industriais	PAschoalin Filho <i>et al.</i> (2016); Castro <i>et al.</i> (2016); Siqueira <i>et al.</i> (2016); Anagnostopoulos (2015); Oliveira <i>et al.</i> (2014)
	Casca de ovo; Cinza casca de arroz; Cinza cana-de-açúcar; Cinza bio-briquete	Barbosa <i>et al.</i> (2019); Sakhare e Ralegaonkar (2017); James (2016); Siqueira <i>et al.</i> (2016); Madurwar <i>et al.</i> (2015); Madurwar <i>et al.</i> (2014); Amaral (2013); Alcântara <i>et al.</i> (2012)
	Sílica ativa	Grande (2003)
	Resíduos de tintas	Santos <i>et al.</i> (2007)
	Resíduos de caulim	Castro (2008)
	Resíduos de madeira	Carrasco <i>et al.</i> (2014); Santos (2009)
	Secagem dos grãos do café	Castro (2019); LINS (2006)
	Areia de fundição	Soundharya (2018); Leonel <i>et al.</i> (2017)
	Resíduos de marmorarias	França <i>et al.</i> (2018); Ribeiro e Hollanda (2014); Carvalho <i>et al.</i> (2014); Lima (2010)
	Casca de arroz Aveia	Ferreira <i>et al.</i> (2017); Siqueira <i>et al.</i> (2016); Siqueira e Holanda (2013); Souza (2011); Ferreira e Oliveira (2007)
Semente de capim braquiária	Ferreira <i>et al.</i> (2017); Ferreira e Oliveira (2007) Ferreira <i>et al.</i> (2008)	
Concreto	raspas de pneu; Lodo de mármore	Vardhan <i>et al.</i> (2019) Silva Neto (2014); Ahmed <i>et al.</i> (2014); Ahmed <i>et al.</i> (2014); Ahmed <i>et al.</i> (2013)
	Raspas de pneu	Martuscelli <i>et al.</i> (2018); Fraile-Garcia (2018); Silva Neto <i>et al.</i> (2018); Bisht e Ramana (2017); Sodupe-Ortega (2016); Rashad (2016); AHMED (2014); Onuaguluchi e Panesar (2014); Li <i>et al.</i> (2014); (2018);Promputthangkoon e Karnchanachetanee (2013); Schendel (2013); Aharanwa (2012); Campos (2009); Alves (2006); Martins (2004); Meneguini (2003); Lima <i>et al.</i> (2000)

A reutilização de materiais provenientes de descarte, pode ser utilizada como matéria prima para tijolos ecológicos, como pneus, lodo de marmorarias, lodo de estação de tratamento de esgoto, cinzas de arroz, cinzas de bagaço de cana, entre outros, de modo que estes resíduos podem incrementar o setor, onde a construção civil tem crescido cerca de 19,55% desde 2004 até meados de 2014 (MARQUES *et al.*, 2017).

Em seu estudo, AL-FAKIH *et al.* (2018) realizaram uma revisão bibliográfica sobre a incorporação de materiais residuais para produzir tijolos de alvenaria, ao que tijolos sem queima, de modo que cita trabalhos com substituição incorporação de resíduos como: **i)** fibra de madeira, calcário em pó, cinzas de casca de arroz (TORKAMAN, 2014); **ii)** cinzas de madeira com alto teor de cálcio (CHEAH *et al.*, 2017); **iii)** agregado reciclado de betão (MARTÍN-MORALES, 2017); **iv)** cinzas de biomassa e filtro de pó (ELICHE-QUESADA, 2019); **v)** pó do forno de cimenteiras (EL-ATTAR, 2017); **vi)** pó de tijolo e agregado de concreto reciclado (KUMAR *et al.* 2017); **vii)** cinzas de caldeira (POINOT, 2018); **viii)** pó de vidro e cinzas de óleo de Palmeira (RAUT, 2017); **ix)** resíduos de mina de ferro e pó de pedreira (NAGARAJ e SHREYASVI, 2017); **x)** serragem, cinzas de madeira e lama de rocha (MADRID, 2017); **xi)** raspas de borracha (SODUPE-ORTEGA, 2016); **xii)** cinzas de bio-bríquete (SAKHARE e RALEGAONKAR, 2016); **xiii)** serragem , cinzas volantes e fumo de sílica (MOHAMMED *et al.*, 2016); **xiv)** escória de aço da escória e do alto-forno (MAHOUTIAN e SHAO, 2016); **xv)** agregado miúdo reciclado (ISMAIL e ZAITON, 2016); **xvi)** cinzas de incineradores (HOLMES, 2016); **xvii)** resíduos de construção e demolição (CONTRERAS *et al.*, 2016); **xviii)** lodo de estação de tratamento de água (RODRIGUES e HOLANDA, 2015); **xvix)** cinzas fornos (NAGANATHAN *et al.*, 2015); **xx)** cinzas calcinados de conchas de ostras (LI *et al.*, 2015); **xxi)** cinzas de fornos e cinzas casca de arroz (HWANG e HUYNH, 2015); **xxii)** cinzas de fornos e cal (ÇIÇEK e CINCIN, 2015); **xxiii)** resíduos finos da pedreira (TEERAJETGUL e SINTHAWORN, 2014); **xxiv)** cinzas de combustível de óleo de palmeira (RAHMAN *et al.*, 2014); **xxv)** óleo semente de dendê (MUNTOHAR e RAHMAN, 2014); **xxvi)** cinzas de fornos (ROVNANÍK e ŘEZNÍK, 2016); **xxvii)** pó de tijolo (ESPUELAS *et al.*, 2017), e: **xxviii)** cal, cinzas de carvão e madeira (MASUKA *et al.*, 2018).

No estudo de Dakwale e Ralegaonkar (2014), foram desenvolvidos tijolos utilizando cimento e cinzas cerâmicas como aglomerantes e RCD como agregados miúdo e graúdo.

Estudos mostram ser possível adicionar 60% de resíduos de concreto em relação à massa de solo sem prejuízos para o produto, atendendo às especificações técnicas, com possibilidade de redução dos teores de cimento, com dosagens em torno de 6% para elementos cimentícios (SOUZA *et al.*, 2008).

Em sua pesquisa, Castro (2008) demonstrou que a incorporação de resíduos de caulim no teor de 20% na mistura de tijolos de solo-cimento com traço 1:10 apresenta melhores resultados nos ensaios de resistência à compressão simples. Os corpos-de-prova, após vinte e oito dias de cura, atingiram 33% de aumento da resistência à compressão em relação ao solo-cimento convencional, dentro dos valores mínimos exigidos pela norma.

Na pesquisa de Dallacort *et al.* (2002) na produção de blocos de solo-cimento, substituiu-se entre 25% a 57% do teor de cimento por material cerâmico, obtendo resistências superiores a 2,0 MPa.

Segundo Silva *et al.* (2014), ao incorporar resíduos de construção e demolição (RCD) cerâmicos na mistura de tijolos de solo-cimento, este apresentou variação do material coletado, o que leva a uma variação nas propriedades de tijolos, oscilando entre 0,8 MPa e 3,0 MPa.

Com o aumento na relação do agregado ao aglomerante, a densidade foi diminuída e a absorção de água dos tijolos foi aumentada. A resistência à compressão de tijolos foi reduzida em 15% com aumento em 10% da percentagem de agregados finos. Da mesma forma, ao aumentar os resíduos em cerca de 12% de agregados graúdos, houve 14% de redução na resistência à compressão e a incorporação de agregados finos e graúdos reduziu em 30% a resistência à compressão (DAKWALE e RALEGAONKAR, 2014).

Para Ferraz e Segantini (2004), os tijolos solo-cimento produzidos com resíduos de argamassa mostraram um aumento da resistência à compressão simples em função do aumento da quantidade de resíduos incorporados, sendo que os corpos de prova com 10% de cimento sem adição de resíduos de

construção e demolição apresentaram resistência média de 2,7 MPa, e os dos corpos de prova com 10% de cimento e com 20% de adição de RCD apresentaram resistência média de 3,3 MPa, indicando a possibilidade de redução no consumo de cimento.

Para Lima (2013), os melhores teores de materiais utilizados na confecção da mistura para tijolos de solo-cimento com resíduos de argamassa foi a combinação pelos traços de SCR0 (100% solo + 12,5% cimento), o traço SCR20 (80% solo + 12,5% cimento + 20% resíduo de argamassa), o traço SCR40 (60% solo + 12,5% cimento + 40% resíduo de argamassa) e o traço SCR60 (40% solo + 12,5% cimento + 60% resíduo de argamassa). Os blocos SCR40 e SCR60 apresentaram melhores resultados de absorção de água, apresentando teores entre 20% e 22% conforme a norma vigente, em comparação ao bloco SCR0 e SCR20. A resistência conferiu mais resistência ao componente o SCR20, com resistência média de 2,74 MPa, sendo que os demais não atenderam às exigências mínimas das normas de resistência.

Ensaio de compressão em variados experimentos com tijolos de solo-cimento adicionando resíduos de argamassa, obtiveram uma média de 3,2 MPa (ALBUQUERQUE *et al.*, 2008); média de 4,4 MPa (ASSIS *et al.*, 2010); médias de 2,6 MPa e 4,1 MPa (MAGALHÃES, 2010). Ou seja, valor acima da referência para blocos de vedação, que precisam resistir uma média de 2,0 MPa à compressão. E ao adicionar agregados miúdos de RCD melhora as propriedades das misturas, o que pode ser atribuído ao efeito de enchimento dos vazios que esses finos causam na mistura, (JOCHEM *et al.*, 2014).

Para fabricação de blocos de concretos com RCD, pôde-se notar que os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos mostraram viável essa substituição. A absorção de água aumenta conforme a incorporação agregados reciclados, portanto atende aos limites da norma em todas as dosagens estudadas, e que os resultados dos ensaios de resistência à compressão comprovam a viabilidade técnica do produto para utilização como elemento de alvenaria dentro do setor da construção civil, com média mínima de 3,4 MPa aos 14 dias e 4,7 MPa aos 28 dias (LINTZ *et al.*, 2012).

Resultados confirmaram o potencial de RCD como matéria-prima parcial para a preparação de tijolos solo-cimento, alcançaram resultados satisfatórios nos testes de absorção. O tijolo com 25% de RCD e 12% de cimento apresentou a melhor resistência à compressão, e possibilita a redução de descarte de RCD e proporciona o uso de materiais sustentáveis (REIS *et al.*, 2018).

Nos estudos de tijolo de solo-cimento com RCD, Segantini e Wada (2011), afirmam que as misturas com 2% de cimento se mostraram insuficientes, sem atingir o mínimo necessário de resistência à compressão simples. Contudo, misturas com 4% de cimento superaram o valor de resistência considerado ideal. Os autores observaram também que, quanto maior a quantidade de RCD na mistura, mais resistência à compressão os tijolos apresentam e, verificaram que os teores compostos com 4% de cimento e adição pelo menos 20% de RCD são aceitáveis para a confecção de tijolos de solo-cimento.

No estudo de Martins *et al.* (2016), a compressão dos tijolos cujas dosagens eram solo + 60% de RCD apresentaram resultados levemente menores que dos tijolos de dosagem solo + 40% de RCD, o que sugere que o resíduo é um ótimo estabilizador para o solo utilizado, de modo que o resultado de resistência à compressão atendeu os critérios exigidos pela norma vigente.

Para confecção de tijolo sem uso de solo, com traços utilizando apenas cimento e resíduos de construção e demolição (RCD), constataram que usar um traço de 1:10 (cimento: RCD) obteve-se resultado de 2,42 MPa, e utilizar um traço de 1:7 (cimento: RCD) obteve-se um resultado de 3,32 MPa, demonstrando que ao incorporar maior quantidade de resíduos, menor fica a resistência a compressão dos tijolos (CAMPOS *et al.*, 2018).

Souza e Ferrari (2012) comprovam que as fibras de carbono comparadas com outras opções de reforço, tais como a adição de barras ou placas de aço, apresentaram vantagens como economia, facilidade de aplicação, menor peso e maior durabilidade, como elemento versátil e simples de usar, tornando a utilização de fibras de carbono uma opção como alternativa de reforço.

Utilizar resíduos siderúrgicos na produção de tijolos solo-cimento como pó de despoejamento (PD), pó de balão (PB), escória proveniente de forno elétrico a arco (EAE) e resíduos de tijolos de solo-cimento (TSC) defeituosos, pode proporcionar economia e minimizar o passivo ambiental, além de ganhos estéticos e tecnológicos do tijolo, atendendo às exigências mínimas de absorção de água e resistência mecânica ao usar nas misturas teores de 20% PB juntamente com 10% de reuso de TSC, teores de 10% de escória ou 20% de EAE juntamente com 10% de TSC e teores de 2,5% de PD juntamente com 20% de TSC (CASTRO *et al.*, 2016).

Oliveira *et al.* (2014) afirmaram que a utilização de resíduos de tornearia mecânica na confecção de tijolos solo-cimento melhorou suas características mecânicas, tanto em relação aos testes de resistência à compressão como de absorção de água. Entretanto, não atenderam aos requisitos mínimos impostos pelas normas vigentes, uma vez que os valores foram inferiores a 2,0 Mpa, e os valores de absorção de água dos tijolos apresentaram tendência de queda com o aumento do teor de resíduos, mas estes valores de absorção de água não estiveram dentro das especificações que não deve ser superior a 20%, com valores de 36,23%.

Grande (2003) constatou que a incorporação de sílica ativa na mistura proporciona benefícios na produção dos tijolos, pois, se bem dosada e com os devidos controles tecnológicos, melhora as características do material no decorrer do tempo.

Santos *et al.* (2007) incorporaram resíduos secos de tintas destorroado e peneirado em substituição parcial ao solo nos traços 1:0:14, 1:2:12, 1:5:7 e 1:7:7 (cimento: resíduo: solo), em volume. O traço com teores de 1:2:12 foi o que atendeu as prescrições normativas, embora tenha apresentado resistência inferior à do tijolo sem resíduo, sendo viável a substituição de até 20% do solo por este resíduo.

A resina de cola Epóxi solúvel, quando combinada com adição de 20 e 30% de cimento contribui consideravelmente para a aumento das propriedades

mecânicas, e que em uma idade de cura de 180 dias, sua resistência à compressão variou de 0,88 a 2,34 MPa (ANAGNOSTOPOULOS, 2015).

Em seu trabalho, Paschoalin Filho *et al.* (2016) verificaram que tijolos de solo-cimento produzidos por meio da inclusão de flocos de PET obtidos da moagem de garrafas de água mineral, indicaram valores de resistência à compressão inferiores ao recomendado pela norma. Contudo podem ser considerados como soluções alternativas em situações sem funções estruturais, o que considera seu uso a retirada de circulação aproximadamente 300 g de resíduos de PET por tijolo, e promoveram a remoção de aproximadamente 180 garrafas PET de capacidade de 2 L para cobertura de uma área de 1m².

Estudos utilizando resíduos pozolânicos como nanopartículas, têm empregado nanosílica como material cimentício, atuando como agente modificador com melhor desempenho em comparação aos agentes cimentícios convencionais (CHOOBBASTI e KUTANAEI, 2017).

Choobbasti *et al.* (2015) realizaram uma série de testes de compressão para investigar as propriedades mecânicas de solos arenosos com adição de cimento Portland e nanopartículas. A partir de testes de compressão, Ghasabkolaei *et al.* (2016), encontraram melhor resistência à compressão adicionando 1,5% nanosílica, estabilizando assim o solo argiloso. Já no estudo de Bahmani *et al.* (2016), a adição de maior porcentagem de nanopartículas de sílica afetou negativamente a resistência à compressão (perda de força).

Ghazi *et al.* (2011), ao estudar a melhoria da resistência à compressão do solo estabilizado com 6% de cimento em seu volume adicionando 2% de nanosílica, alcançaram um aumento de resistência de 1,7 MPa para 2,1 MPa. Bahmani *et al.* (2014) relataram que a inclusão de partículas de nanosílica levou à redução do índice de plasticidade e melhorou a estabilidade da mistura. Deste modo, microfissuras aparecem na estrutura da amostra, o que diminuiu a resistência à compressão, pois o aumento da quantidade de nanosílica pode aumentar o efeito de empacotamento, ou filler (CHOOBBASTI e KUTANAEI, 2017). Os resultados mostraram que a reatividade química e a durabilidade dos

produtos cimentícios nanomodificados podem melhorar as propriedades de trabalhabilidade dos elementos cimentícios, mas podem diminuir sua resistência à compressão (CHOOBBASTI e KUTANAEI, 2017; PETRY *et al.*, 2017).

A resistência à compressão de tijolos de solo-cimento com calcificação bacteriana com cristais de calcita foi de 6,69 MPa, enquanto os tijolos de referência obtiveram 6,02 MPa, com melhoria de 10%, devido ao carbonato de cálcio que preencheu os vazios dos tijolos reduzindo a porosidade cimento e atuando como bio selante que leva à redução da absorção de água, porosidade, permeabilidade e aumenta sua resistência. (MUKHERJEE, 2013).

Santos (2009), em sua pesquisa de tijolos de solo-cimento, ao incorporar 1,5% de resíduos de madeira provenientes da construção civil (RMCC), encontrou maior resistência à compressão simples comparado ao tijolo sem adição de RMCC. Já incorporar teores de até 3% na mistura apresenta potencial para ser utilizado na confecção de tijolo maciço, sem função estrutural (SILVA, 2005). A inclusão de resíduos de serragem de madeira, com teores de 0,5% na mistura, aumenta sua flexibilidade, mas reduz a sua resistência a compressão e deste modo, aconselha-se incluir o resíduo de serragem para uso não estrutural (CARRASCO *et al.*, 2014).

A incorporação de resíduos da casca de ovo em tijolos de solo-cimento, indicam que resíduos da casca podem ser usados com excelentes propriedades técnicas (rica em CaCO_3 - carbonato de cálcio), e seus resultados, na faixa de até 30% em peso em substituição parcial do cimento Portland, apresentam resultados de resistência a compressão de 4 a 4,55 MPa (AMARAL, 2013).

Os tijolos solo-cimento produzidos com a substituição do cimento em até 30% de resíduo de casca de ovo e a substituição do solo arenoso em até 15% de escória do fluxo da soldadura poderiam servir como materiais de construção, portanto utilizar maior concentração de resíduos sólidos não é recomendado devido à diminuição da resistência mecânica (SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Nos estudos de tijolos de solo-cimento com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, a resistência à compressão foi 65% maior que traço de referência. Adicionar teores de 3%, 5%, 8% e 10% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar estabilizou os tijolos de solo-cimento, satisfazendo a exigência de força mínima da norma, de modo que a resistência aumentou aos 28 dias nas porcentagens de 3%, 5% e 8%, e ao usar a porcentagem de 10%, sua resistência diminuiu (SALIM *et al.*, 2014).

Madurwar *et al.* (2015) estudaram a proporção de uma mistura adequada a partir da cinza do bagaço de cana-de-açúcar combinado com pó de pedreira e cal para desenvolver tijolos sustentáveis, e estimaram que a redução percentual do custo foi de 49% em comparação com uso de cinzas de tijolos de argila queimada. Ao utilizar a cal como aglomerante, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar e o pó da pedreira como agregados para a fabricação de tijolos, estes apresentaram valores até 6,59 MPa com 20% de adição de cal.

Também foi constatado que os tijolos com 15% de cinza diminuíram em 25% o peso do tijolo convencional, com potencial do uso dos resíduos para a fabricação de materiais de construção eficientes, leves e sustentáveis (MADURWAR *et al.* 2014).

Ao investigar o desempenho de tijolos de solo-cimento com teores de 4% e 10% de cimento e teores de 4%, 6% e 8% de cinzas de cana-de-açúcar submetidos à resistência à compressão após 28 dias, os resultados dos testes indicaram um aumento da resistência à compressão, onde concluiu-se que todos os teores testados atenderam às normas mínimas exigidas (JAMES, 2016).

Incorporar aos tijolos de solo-cimento outros tipos de materiais em substituição do solo, e constatar benefícios nesses traços conforme resultados apresentados na resistência à compressão, utilizando traços incrementados com cal e fibras de casca arroz, pois a fibra pode impedir as tensões nas fendas que se tornam gradualmente maiores, com resultados similares aos elementos que utilizam outras fibras (MUNTOHAR, 2009).

Segundo Souza (2011), os corpos-de-prova cilíndricos convencionais confeccionados com teores de 2% e 4% de casca de arroz adicionados ao solo, apresentaram valores de resistência à compressão simples superior em comparação à mistura com 90% de solo e 10% de cimento.

Alcântara *et al.* (2012) concluíram que a adição de cinza de casca de arroz calcinada e moída à mistura solo-cal obteve ganho de resistência em até 3,4 MPa, superando o que exige a norma (2 MPa). Verificaram também que a cura do tijolo em câmara úmida apresentou maior resistência à compressão e maior capacidade de absorção de água, com uma relação inversa entre a resistência mecânica e a absorção de água, nos períodos de cura analisados.

Para Ferreira e Oliveira (2007), a substituição do cimento por 10% de resíduos de casca de arroz obteve uma média de 2,11 MPa no teste de resistência à compressão simples, ao passo que substituir os mesmos teores pela casca de semente de capim braquiária obteve média de 1,56 MPa, comprovando serem interessantes agregados na fabricação de blocos e tijolos prensados não estruturais.

A adição de 10% de casca de arroz proporcionou valores superiores de resistência à compressão simples em comparação ao uso do mesmo teor de 10% de casca de braquiária (FERREIRA *et al.*, 2008). Do mesmo modo, a adição de casca de arroz resultou em valores maiores da resistência à compressão simples em comparação com os obtidos com casca de semente de braquiária, assim como houve redução do peso específico (FERREIRA *et al.*, 2017).

O uso de casca de arroz e lodo de estação de tratamento de água (ETA) em tijolos solo-cimento são passíveis de uso ao empregar 21% de casca de arroz e 36% de lodo de ETA no volume da mistura. Esses valores atenderam aos requisitos normativos, com resistência mínima de 2,00 MPa aos 28 dias e absorção de água abaixo de 20%, o que reduz custos e o descarte inadequado destes materiais (BARBOSA *et al.*, 2019).

Rodrigues e Holanda (2013) demonstraram que o uso isolado de lodo ETA como agregado pode ser usado como uma matéria-prima em substituição em até 1,25% do peso de solo na fabricação de tijolo solo-cimento, o que tende a aumentar o teor de partículas finas, matéria orgânica e plasticidade da mistura, interferindo na hidratação do cimento, o que limita inserir o lodo em tijolo solo-cimento.

Lins (2006), não encontrou resultados satisfatórios nos testes ao utilizar resíduos gerados da secagem de grãos de café em tijolos solo-cimento.

Conforme a revisão bibliográfica, o uso de solos com elevados teores de matéria orgânica não é adequado, e caso seja utilizado, o melhor cimento é o CPV-ARI (alta resistência inicial) para estabilizar a massa (DIAS, 2011).

Siqueira e Holanda (2013) reutilizaram resíduos de grãos de aveia como matéria prima para substituir o cimento Portland por até 30% do peso total dos tijolos de solo-cimento. Porém, apenas as porcentagens de até 20% obteve as resistências mínimas necessárias (2 MPa), apresentaram resultados de compressão entre 5 MPa e 6 MPa e de absorção de água entre 18 a 22%.

Empregar cinzas de bio-bríquete (carvão ecológico de resíduos de soja, algodão, serragem, etc.), comparados aos tijolos produzidos com cinzas comuns, reduziram em até 43% seu peso, e proporcionaram 13% maior resistência à compressão, e economia de custo de 29% (SAKHARE e RALEGAONKAR, 2017).

Em outro estudo de Sakhare e Ralegaonkar (2016), o uso de cinzas de bio-bríquete para o desenvolvimento de tijolos, com a substituição parcial da areia (5 e 55%) mantendo a porcentagem de cimento constante, revelou potencial para a utilização de cinzas de bio-bríquete no desenvolvimento de tijolos, de modo que aumentar de 5% para 55% diminuiu a densidade de tijolos em 20%. Os tijolos 35% de cinza, 55% areia e 10% de cimento apresentaram resistência à compressão de 4,19 MPa e absorção de água no teor de 19%.

O "*grits*" é um resíduo sólido gerado na indústria de celulose conhecido como papel *kraft*, resultado do cozimento da madeira, sendo classificado como

classe II A. Substituir teores de 25% e 50% dos solos por “grits”, apresentaram resistências de 1,7 MPa aos 14 dias e de 2,0 MPa aos 28 dias. Já a absorção foi em torno de 16%, abaixo do máximo valor médio prescrito na norma que é 20% (MIRANDA *et al.*, 2011; SIQUEIRA e HOLANDA, 2013; SIQUEIRA e HOLANDA, 2015). Nos testes de resistência à compressão aos 28 dias, todas as amostras tiveram seus valores médios superiores à norma, que é 2,0 MPa (RITA de CASSIA, 2016).

Produzir tijolos com materiais provenientes resíduos de fontes naturais se apresentam como uma alternativa *eco-friendly*, pois aproveitam as propriedades provenientes de materiais que possuem qualidades pozolânicas como as cinzas vulcânicas, com características cimentícias (GUTIERREZ, 2010). Do mesmo modo como Ahmed *et al.* (2013) acreditam que a resíduos de mármore e granitos podem ser utilizados em compósitos cimentícios, inclusive simultaneamente com borrachas visando benefícios ambientais.

Substituir areia de rio por areia de fundição produz um tijolo solo-cimento com redução da resistência mecânica e diminuição da absorção de água, ao passo que incluir pó de cascalho resulta em um aumento da resistência mecânica, apresentando a possibilidade de uso de proporções adequadas dos materiais utilizados, obtendo tijolos que atendam às necessidades do mercado (LEONEL *et al.*, 2017; SOUNDHARYA, 2018).

O resíduo de mármore apresenta uma composição química similar à matérias-primas convencionais utilizadas na construção civil para produção de concretos e argamassas, e sua granulometria assemelha-se à do cimento e de outras matérias-primas, sendo rico em partículas nas frações de silte, contribuindo significativamente para redução do descarte deste material no meio ambiente, além de agregar valor ao resíduo indesejável, diminuindo assim o impacto ao meio ambiente. Os valores obtidos nos testes de compressão simples indicam que a substituição do agregado miúdo por resíduos de marmorarias no teor de 10% promoveu a melhoria desta propriedade, tendo sido observado leve aumento da absorção de água do concreto (MATIAS *et al.*, 2018).

Conforme constatado por Lima (2010), em sua pesquisa de tijolos de solo-cimento com resíduos de marmorarias, a resistência à compressão simples diminuiu com o aumento do teor de resíduo, sendo que os melhores resultados foram para os corpos-de-prova incorporados com 30% de resíduo de marmorarias.

Os valores de resistência à compressão simples foram inferiores aos parâmetros da norma, que se verificou devido à geometria dos tijolos vazados, pois para os corpos-de-prova cilíndricos os valores de resistência a compressão simples estiveram acima dos parâmetros da norma (LIMA, 2010).

A incorporação dos resíduos de marmorarias em tijolos de solo-cimento é tecnologicamente viável. Aliar teores de 30% no volume na mistura melhora a resistência à compressão, no entanto teores entre 40 e 50%, aumenta a absorção de água e diminuiu a resistência mecânica (FRANÇA *et al.*, 2018).

Segundo Carvalho *et al.*, (2014), a durabilidade de tijolos de solo-cimento incorporada com resíduos de marmorarias foi investigada por meio de testes de durabilidade, de modo que a composição dos tijolos com 60% de resíduos inseridos em sua mistura foi capaz de atender a norma desenvolvendo aparentemente menor porosidade, com valores de resistência à compressão dentro das especificações após 28 dias de cura. No entanto, tijolos com incorporação de 65% de resíduos de marmorarias, devido à maior porosidade do tijolo, alterou seu desempenho para valores inaceitáveis.

No trabalho de Ribeiro e Hollanda (2014), a adição de 40% de resíduos de marmoraria causou mudanças nas propriedades técnicas de amostras de tijolos de solo-cimento, atendendo a resistência mínima à compressão, com valores entre 3,6 - 9,7 MPa, e de absorção de água nas amostras abaixo de 22%, com valores entre 17 – 21%, conforme recomendado pelas normas vigentes.

Já o uso de borracha em formato de raspas em tijolos solo-cimento, substituindo o solo por borracha em teores de 0, 10, 15, 20, 25, 30 e 40% do peso

da mistura, com uma constante do índice de cimento em 10%, indicaram que houve redução do peso da amostra (NAMBOONRUANG, 2013).

Argamassas com teores de 8% de pó de borracha no traço apresentaram menores índices de fissuras, ligeira redução de água de amassamento, melhorou a trabalhabilidade e mostrou uma tendência de queda na retenção de água (absorção), segundo CANOVA *et al.* (2015), já ao empregar 10% de borracha na mistura, aumentou a absorção de água devido a sua superfície (AL-FAKIH, 2018).

Já o uso de raspas de pneu com teores de até 5% em elementos solo-cimento é viável considerando o viés sustentável (YADAV e TIWARI, 2018).

Utilizar borracha em tijolos de solo-cimento pode ser usado em elementos não estruturais, adequado para a construção como baixo custo e baixo consumo de energia segundo normas da ASTM, assim como a presença de vazios de ar devido a partículas de borracha pode aumentar a absorção de água.

Também o uso da borracha pode diminuir a condutividade térmica nos tijolos solo-cimento, pois na investigação da transferência de calor de tijolo de solo-cimento contendo borracha com inserção de frações diferentes com teores de 10, 20, 30 e 40%, e revelado boa correspondência com os resultados experimentais comparados aos tijolos sem utilização de borrachas (NAMBOONRUANG, 2013).

Substituir areia por raspas de pneu pode ter melhores resultados se for utilizado na composição da mistura com teores de borracha de 4% a 6%. A incorporação das raspas de pneu em concretos não só vai ajudar na obtenção de um bom material estrutural, mas também minimizar resíduos (AHARANWA, 2012).

Tijolos de solo-cimento com incorporação de borrachas em formato de raspas foram produzidos incorporando teores de 10% de borracha na mistura e teores de 56% substituindo cimento por cinzas pozolânicas como agregado fino em volume total na mistura, mantendo-se o teor de cimento, respectivamente, conforme a norma ASTM-C150 e ASTM-C618-17^a. Aos 28 dias as características

físicas exibiram o tamanhos uniformes e dentro das tolerâncias dimensionais (AL-FAKIH, 2018).

Em seu estudo para materiais de construção (AHMED, 2014) realizou testes em seis diferentes resíduos sólidos, dentre estes as raspas de borracha, com teores de 5, 10, 15% substituído pela quantidade de cimento, com o objetivo de avaliar as propriedades de lixiviação dos materiais residuais e seus efeitos sobre o meio ambiente, sendo constatado que houve pouca lixiviação no produto.

Ao incorporar fibras de borracha na composição da mistura para tijolos de solo-cimento, a resistência média aumentou nos traços com adição de 11% de borracha aos sete dias, com média de 1,72 MPa sem borracha e 1,96 MPa com adição de borracha, e aos quatorze dias obteve médias de 2,06 MPa sem borracha e 2,28 MPa com adição de borracha (PEREIRA *et al.*, 2015).

Já em outro estudo, pode-se observar a melhoria da qualidade do concreto utilizando raspas de pneu, de modo que a densidade e peso seco foram melhorados e reduzidos, conforme o teor de borracha foi aumentado. (AHARANWA, 2012). Entretanto, em relação aos tijolos solo-cimento, com o aumento gradual de raspas de pneu, as resistências diminuíram.

A inclusão de 16% de borracha obteve média de resistência à compressão de 3,42 MPa, já o teor de 28% de borracha obteve média de resistência à compressão de 2,96 MPa, ao passo que a inclusão de 37% de borracha obteve média de resistência à compressão de 1,23 MPa (CAMPOS e CAMPOS, 2015). Em outro estudo, os mesmos autores utilizando traços de 25% de raspas de pneu alcançaram média de resistência à compressão de 3,19 MPa aos sete dias (CAMPOS e CAMPOS, 2018).

Martuscelli (2018) investigou o efeito da inserção de partículas de borracha em granulometria com partículas grossas e finas (teores de 10, 15 e 20%) e de resina epóxi (teores de 35 e 50%). A resina epóxi contribuiu para a hidratação do cimento e a incorporação mais elevada de partículas graúdas de borracha conduziu ao desempenho mecânico reduzido. Os compósitos fabricados

com agregados nos teores de 10 % de borracha fina e 35% polímero epóxi alcançou melhor desempenho mecânico.

Para Martuscelli (2018), o maior teor de epóxi e inclusões de borracha grosseira contribuiu para reduzir a densidade de amostras. A incorporação de borracha reduziu as propriedades mecânicas em comparação com as condições de referência, criando um material pseudoelástico.

Ahmed *et al.* (2014) em sua pesquisa, avaliaram compósitos cimentícios com borracha natural reforçados com lodo de mármore e casca de arroz para examinar as características de cura e propriedades mecânicas, ao que apresentaram melhora significativa de resistência à tração, o módulo, a dureza da força de rasgo e a densidade de ligação cruzada dos compósitos sem borracha se comparados aos compósitos com borracha com teores de 60% na mistura.

Ao estudar a utilização de agregados de uso não convencional (pó de pedra e borracha de pneu) na confecção de concretos, Silva Neto *et al.* (2018), encontraram resultados vantajosos na utilização destes materiais. Porém deve-se levar em conta que sua resistência diminui na proporção que aumenta o uso destes agregados, no entanto, a substituição de areia por borracha em teores de 10% e pó de pedra em teores de 15% torna-se viável para fins estruturais nas edificações.

Onuaguluchi e Panesar (2014) em seu estudo, verificaram que as propriedades mecânicas e durabilidade de concretos contendo pó de borracha e pó de pedra calcária em substituição dos agregados miúdos em teores de 0%, 5%, 10% e 15% apresentaram resultados com melhorias na resistência devido o preenchimento dos vazios na superfície da borracha. Já Bisht e Ramana (2017) concluíram que pode-se substituir teores de até 4% dos agregados miúdos, bem como por raspas de borracha para produção de elementos de concreto não estruturais.

Fraile-Garcia (2018) apontam que empregar teores de raspas de borracha abaixo de 20% é viável para concretos não estruturais, e recomendados para soluções construtivas que necessitam de isolamento térmico substancial.

Sodupe-Ortega (2016) recomendam que não se deve incorporar mais de 20% de borracha como agregados miúdos em tijolos de concreto, e que para blocos de concreto vazados, não deve ser utilizado uma proporção com teores maiores que 10%, pois além de ter baixa resistência, apresentaram colapso de amostras após sua desmoldagem.

Já Li *et al.* (2014), apontam que concretos com teores de 8% de borracha podem ser utilizados sem perda de resistência do produto.

Em seu artigo, Rashad (2016) apresenta uma visão geral de pesquisas realizadas sobre o uso de resíduos de borracha como substituição de agregado natural miúdo, com alguns prejuízos e alguns benefícios, pois a maioria dos estudos apresenta diminuição na trabalhabilidade da mistura, redução da densidade por conta dos vazios, redução de sua resistência ao fogo, redução da resistência mecânica, mas em contrapartida houve a melhora da mistura à energia de impactos, aumentando a sua ductilidade (capacidade de deformação até sua fratura), aumento de resistência à abrasão, aumento da resistência ao congelamento/descongelamento, assim como a inclusão de raspas de borracha na mistura aumentou a sua porcentagem de absorção de água e porosidade. Por outro lado, a inclusão de raspas de borracha na mistura aumentou sua isolação térmica e resistência elétrica e exibiu maior resistência ao aparecimento de fissuras nos concretos.

2.6. RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Todo o resíduo gerado no meio urbano é considerado um resíduo sólido urbano (RSU), sejam estes resíduos industriais, comerciais ou de serviços. Podem ser classificados como resíduos orgânicos os provenientes da varrição de ruas e vias, a poda de árvores e de grama, assim como os resíduos provenientes

de feiras livres e mercados (BRASIL, 2010). A maioria dos resíduos se constitui de matéria inorgânica e, portanto, passíveis de reciclagem, enquanto os orgânicos podem ser reincorporados à dinâmica natural por intermédio da compostagem.

Nesse sentido, as ações voltadas à gestão de resíduos devem: *i)* considerar o planejamento da classificação, da caracterização, da quantificação, da pesquisa dos processos de tratamento e valorização; *ii)* os estudos de locais de estocagem de acordo com normas de segurança, de transporte e dos custos (BRASIL, 2010).

Estes resíduos também podem ser caracterizados como: recicláveis ou reutilizáveis (podem ser reaproveitados), putrescíveis (composição orgânica, que podem ser utilizados como fertilizantes) e inservíveis (rejeitos que não servem mais para aproveitamento), sendo que dentre estes resíduos apresentados pode-se citar os resíduos industriais, formados por cinzas, lodos, óleos, fibras, madeiras, borrachas, entre outros, decorrentes de processos produtivos (BRASIL, 2010).

Com o crescimento desordenado das cidades, o problema do lixo se tornou um grave problema ambiental, sobretudo em razão da atual escassez de locais para a deposição deste grande volume de materiais, em especial os rejeitados nas construções (SEGANTINI e WADA, 2011).

Como resultado, as cidades geram uma enorme quantidade de RSU, e a consequência se apresenta com o desperdício de materiais naturais não renováveis tais como areia, pedra, madeira, entre outros.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) em debate sobre a destinação dos RSU com diversos setores e órgãos competentes afirma que as iniciativas acerca da reciclagem não devem ser consideradas apenas como atividades de saneamento, mas sim como ações que visam à conservação e eficiência do processo produtivo.

Os fundamentos no desenvolvimento sustentável consideram todo o ciclo de vida do produto com ênfase nos 3 R's - reduzir, reutilizar e reciclar, sendo que

tais iniciativas não podem ser tratadas de forma isolada, mas de maneira conjunta, Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010), pois:

- i)* Ao reduzir, propõe consumir menos produtos e menor geração de resíduos com maior durabilidade;
- ii)* Ao reutilizar, pode-se utilizar novamente as embalagens, e;
- iii)* Ao reciclar, deve-se envolver a transformação de materiais descartados na produção de matéria-prima para novos produtos por meio de processos industriais ou artesanais, e fabricar um produto a partir de um material usado.

A reutilização consiste no aproveitamento do resíduo, nas condições em que é descartada sem qualquer alteração física do seu material com pouco ou nenhum tratamento (TEIXEIRA, 2009). As principais barreiras para a reutilização se apresentam como a falta de orientação para a coleta e classificação, falta de conhecimento e padronização e a carência de um mercado capaz de absorver a reutilização dos resíduos, ao que o sistema de gestão ineficaz, a falta de maturidade na reciclagem e o mercado de reciclados, afetam a utilização circular de RSU (HUANG, 2018).

Ao propor novos usos dos resíduos, a reciclagem possibilita o reuso de materiais por apresentar resultados na redução de resíduos encaminhados para uma destinação final, a redução de energia na cadeia produtiva e uma economia de matéria prima virgem (MORAES, 2012). A reciclagem reintroduz os materiais segregados no processo produtivo, agregando valor ao material descartado, uma vez que os materiais separados são transformados em novos produtos, mas para que isto seja viável a coleta deve ser seletiva (LIMA, 2012).

Segundo o MMA (BRASIL, 2010), ao propor reduzir com menor consumo de produtos e que possam gerar menos resíduos, a redução está em consonância com os dois outros princípios ao se reciclar e reutilizar materiais, na forma de reduzir a quantidade de descarte inadequado de materiais.

Estudos sobre reciclagem apresentam resultados onde mais de 40% do total de resíduos gerados podem ser desviados de aterros sanitários, incrementando a economia circular e a recuperação destes resíduos, portanto,

apesar da importância para o desenvolvimento socioeconômico, há uma lacuna na literatura sobre a gestão de resíduos neste tipo de atividade (FREITAS e MAGRINI, 2017).

Por exemplo, no caso de pneus, essa redução interfere tanto na qualidade do ambiente diretamente quanto indiretamente, pois os pneus por serem vulneráveis ao fogo, se queimados podem contaminar o ar e também por percolação as águas subterrâneas como consequência das chuvas (PROMPUTTHANGKOON e KARNCHANACHETANEE, 2013).

O primeiro passo para redução de desperdício se alcança por meio de planejamento. Ao recuperar um resíduo por meio da reutilização ou reciclagem, deve-se levar em conta métodos de utilização e materiais ambientalmente amigáveis (SOLTAN, 2016), ao reduzir resíduos em aterros sanitários.

Com a preocupação em minimizar o impacto ambiental, o governo federal sancionou a Lei nº 12305/2010, que pelo Decreto nº 7404/2010 estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que entre suas atividades cita:

***XI** - Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;*

***XII** - Logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;*

***XVIII** - Reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes.*

Santos (2009) comenta que seja necessário considerar o proprietário do resíduo como um agente promotor na gestão dos resíduos e, não somente como um gerador destes resíduos.

A evolução da situação dos RSU tem exigido métodos mais complexos, como o conceito de Sistemas Integrados de Gestão de Resíduos Sólidos (SIGRS), cuja concepção consideram a coleta seletiva, a reciclagem, o reaproveitamento de materiais tanto na cadeia produtiva industrial quanto na reintegração à dinâmica natural, a reutilização dos artefatos, a conscientização ambiental, dentre outros aspectos (BRASIL, 2010).

Conforme Moraes (2012), estes sistemas integrados podem incorporar mais de uma técnica, a exemplo da aterragem e a incineração, tratando-se, de um conjunto amplo de ações que envolvem a conscientização e a responsabilização dos diversos setores da sociedade com o mesmo propósito que deve ser a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo.

A principal intenção da PNRS anseia pela extinção de aterros e lixões, prevê a otimização dos processos de reciclagem existentes, a responsabilização dos grandes geradores de resíduos, bem como estabelece que somente sejam ativados novos aterros sanitários com o aproveitamento dos resíduos orgânicos por meio do processo de compostagem (ABREU JUNIOR *et al.*, 2012).

Segundo Lima (2012), muitos municípios vêm aprimorando a coleta de maneira seletiva, melhorando a operação dos aterros e evitando riscos ambientais.

Os RSU devem ser tratados e processados o mais próximo possível da fonte geradora, com vista a evitar os riscos de transporte, assim como propor limitações ao encaminhamento dos RSU (MORAES *et al.*, 2015).

Como desdobramento destas regulamentações, a Lei 12.305/2010 Art. 13º Inciso H – Resíduos da construção civil – estabelece que, “resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil”, devem ter uma destinação adequada ou reinserção no mercado, como:

[...] resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, podem ser provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, assim como os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, os tijolos, os blocos

cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras (BRASIL, 2010, s/p).

Ocorre que todo este procedimento gera custos e, apesar da receita obtida com a venda dos recicláveis ter aumentado em razão do crescimento populacional, as despesas também aumentam, tornando o saldo insuficiente e demonstrando que a operação está deficitária. O que pode ser vantajoso no sistema é que se houver um procedimento que valorize os resíduos selecionados e classificados na fonte geradora, pode desenvolver seu reaproveitamento e reintrodução no ciclo produtivo (LIMA, 2006).

Em seu estudo, AL-FAKIH *et al.* (2018) realizaram uma revisão bibliográfica sobre a incorporação de materiais residuais para produzir tijolos de alvenaria, ao que, entre os tijolos queimados com inclusão de diversos materiais inorgânicos, tais como resíduos de lodo de vidro, diatomito, cinzas de casca de arroz, vidros, dentre outros, o pó de mármore com teores de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, e 30%, 35%, apresentou resistência à compressão entre 8,2 MPa com 30% de resíduos, alcançando até 34,2 MPa. A absorção de água variou de 10,9% até 26,9%, assim como sua porosidade aumentou de 22,0% para 42,8% com a diminuição da densidade de massa dos tijolos, ao passo que a condutividade diminuiu de 0,97 W / mK para 0,40 W / mK.

Contreras *et al.* (2016) apresentam possibilidade de usar resíduos de construção e demolição com agentes como matérias-primas de construção para blocos de concreto de baixo custo em paredes de alvenaria, ao que todas as composições propostas com adição de cal e cimento mostram valores de resistência à compressão (5,47 MPa e 7,61 MPa) maiores do que os padrões brasileiros (NBR 7170/ categoria C com mínimo 4 MPa), europeus e americanos (UNE 41166 e ASTM C 90) 6,86 MPa e 6 MPa e em caso de parede não-estrutural 3,43 MPa e 4 MPa), com traço utilizando 50% elementos cerâmicos, 20% concreto e 30% de argamassas.

Rocha e John (2003) citam que, para um adequado fechamento do ciclo de produção, o reaproveitamento de um determinado produto descartado pode se tornar uma ótima alternativa alinhada à sustentabilidade.

2.7. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – PÓ DE MÁRMORE

Assim como a indústria cerâmica apresenta grande importância no setor da construção civil, a indústria da mineração e beneficiamento de mármore e granitos é uma das mais promissoras no setor mineral, apresentando um crescimento da produção mundial estimado em 6% ao ano (ABIROCHAS, 2013), sendo que o volume de exportação foi de 2,46 milhões de toneladas de rochas ornamentais e o volume de importação foi de 58,9 mil toneladas de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2017).

A extração de rochas ornamentais no Brasil consiste na retirada de pedras brutas das pedreiras transformando-as em chapas polidas próprias para o consumo, onde o beneficiamento pode ser primário ou final (MANHÃES e HOLANDA, 2008).

O primário consiste na produção de blocos das pedras brutas por processo de serragem, transformados em blocos com dimensões entre 5 m³ e 10 m³. Já no beneficiamento final estes blocos são recortados em chapas e recebem polimento e resinas (SETEC, 2007). Todo o processo gera consideráveis quantidades de resíduos com características de lodo ou lama, geralmente constituídas por pó de pedra, cal, água, retalhos de rochas e granalha metálica, que pode vir a provocar grandes agressões ambientais, se não for descartada de maneira adequada (CHIODI FILHO e RODRIGUES, 2009).

No ano de 2007, a produção de rochas ornamentais no Brasil atingiu oito milhões de toneladas, o que gerou aproximadamente 682 mil m³ de resíduos de rochas em volume, equivalente a 1,8 milhões de toneladas de resíduos. Estima-se que em 2012 foram geradas em torno de 22 milhões de toneladas (Mt) de resíduos, o que representa um grande desperdício de recursos naturais. Estes

poderiam ser utilizados como subprodutos denominados “estoques remanescentes” (ABIROCHAS, 2018).

Já o resíduo gerado nas marmorarias é de 40% do volume do bloco processado, sendo 26% de resíduo fino e 14% de resíduo grosso. Portanto, no beneficiamento são geradas em torno de 1,5 Mt dos resíduos finos, como pó de rocha, e quase 1 Mt de resíduos grossos como aparas (CAMPOS, 2014). Já Queiroz e Castro (2018) comentam que foram processadas mais de 7 Mt de rochas e gerados ao redor de 2 Mt de resíduos finos em 2017.

O Quadro 3 apresenta a proporção de resíduos gerados pelo processo de beneficiamento (ALMEIDA, 2014).

Quadro 3 – Resíduos no beneficiamento de rochas ornamentais.

Referências	Resíduos gerados (% em relação ao bloco)
Almeida (2014)	35%
(Freire e Mota, 1995) e (Souza, 2001)	20% a 25%
(Silva, 1998) e (Vieira, 2004)	30%
(Villaschi e Sabadini, 2000)	25% a 30%
(Almeida e Pontes, 2001)	40% a 50%
(Golçalves,2000) e (Cavalcanti, 2006)	25% a 30%
(Gobboet al, 2004) e (Mello et al, 2006)	30% a 40%
Média	31,50%

Fonte: Adaptado de Almeida (2014).

Almeida (2014) enfatiza que a atividade de beneficiamento de granitos, mármore, ardósias, entre outras rochas, gera grandes quantidades de resíduos sólidos, com consequências negativas para a saúde das pessoas e para o meio ambiente, visto que estes resíduos não possuem uma aplicação prática definida e são descartados indevidamente, defendendo a possibilidade de reutilização de resíduo de mármore na produção de material cerâmico.

Buscar alternativas de uso destes resíduos pode reduzir os impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima. Desta maneira, a incorporação de resíduos em elementos cimentícios pode trazer benefícios como economia de matéria-prima não-renovável, destacando a questão ambiental e redução do consumo de energia (LUCAS e BENATTI, 2008).

As empresas devem proporcionar um destino apropriado para seus resíduos gerados durante o processo produtivo. Tais resíduos podem ser descartados em aterros ou lagoas de decantação (MOTHÉ FILHO *et al.*, 2005).

Devido a esta preocupação, nos últimos anos houve aumento de publicações envolvendo o reaproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais e a diversidade de destinação para o setor da construção civil (SAMUDIO, 2017).

Em pesquisa baseada em revisão bibliométrica sobre o uso deste material na construção civil (concreto, argamassa, cimento, bloco, agregado e pavimento), foi encontrado 61 artigos, e na área de materiais cerâmicos (tijolo, cerâmica, esmalte, ladrilho, vidro-cerâmica, telha e porcelana) totalizou 13 artigos, enquanto que na área de tratamento de solo totalizou 10 artigos. Percebeu-se um o aumento no número de publicações por ano: houve 13 publicações no ano de 2011, 19 publicações no ano de 2012, 12 publicações no ano de 2013, 15 publicações no ano de 2014, 19 publicações no ano de 2015 e 30 publicações no ano de 2016 (MARINHO *et al.*, 2017).

Ainda Marinho *et al.* (2017) em seu estudo, evidencia as possibilidades distintas para o uso do resíduo de marmorarias. Quando comparados por área de aplicação, apresenta 37 artigos utilizando o resíduo em concretos, 11 artigos utilizando em argamassa, 7 artigos utilizando em tijolos, 4 artigos utilizando em blocos de concreto e 1 artigo utilizando em telhas.

Dentre os títulos pesquisados, interessante notar que nenhum trata de tijolo solo-cimento. Diversos assuntos foram abordados, tais como: *i)* obtenção de silicato de cálcio para uso em tijolos; *ii)* reciclagem de resíduos de mármore para fabricação de tijolos; *iii)* uso do resíduo do pó de mármore na indústria de tijolo; *iv)* propriedades dos tijolos usando pó da pedreira; *v)* características de tijolos de argila com adição de resíduos de pó de mármore; *vi)* tijolos de argila com rejeitos reciclados de rocha; *vii)* produção de tijolos usando resíduos de lama em pó de pedra.

No estudo de Sutcu (2015), as principais conclusões encontradas sobre a utilização de resíduos de mármore em pó na fabricação de tijolos foi a menor densidade aparente, pelo efeito de empacotamento dos materiais, ao preencher os vazios entre os agregados da mistura. Alcançou também resistência adequada à compressão, tijolos com até 30% de resíduos de mármore apresentam uma resistência à compressão entre 8,2 MPa e 32,1 MPa. Demonstrou também que o pó de mármore pode ser usado como isolante térmico, e que o uso em larga escala pode melhorar significativamente o passivo ambiental e reduzir o custo de eliminação destes resíduos.

Saboya *et al.* (2007) afirmam que se pode incluir de 15% a 20% de pó de mármore em tijolos cerâmicos, porém, estes possíveis destinos para os resíduos de marmorarias têm um problema, visto que não geram consumos em grande escala, em relação à quantidade de resíduos acumulados no meio ambiente.

O uso de resíduos de pedras, mármore e granitos, demonstra ser viável na aplicação de produção de elementos cimentícios. Esta viabilidade pode ser verificada na utilização dos aglomerantes oferecidos no mercado, uma vez que a NBR-11.578 define que cimento composto com escória (CP IIE), permite utilizar um percentual que pode variar de 6% a 34% de material residual aplicado neste composto (ALVES, 2008).

Alves (2008) ainda comenta que esta adição mineral é caracterizada como fíler, comumente utilizado com o calcário, o pó de quartzo e o pó de pedra (pó de mármore ou granito). Consiste na adição deste composto pulverulento, sem atividade química, em que sua ação se comporta com efeito físico de empacotamento dos grânulos dos agregados.

Vardhan *et al.* (2019) apontam em seu estudo que ao substituir teores de pó de mármore entre 10 a 60% por agregado miúdo na mistura de concreto, o teor de 40% de substituição de obteve melhor resultado, com melhor densidade do concreto devido ao empacotamento (efeito fíler) dos materiais na mistura, o que apresentou aumento de resistência à compressão com o a idade do concreto.

Quesada *et al.* (2012), em seus estudos mostraram que é possível obter os tijolos cerâmicos com 5% de serragem, 10% adubo e 15% de mármore, com propriedades mecânicas semelhantes de tijolos de barro sem estes resíduos. O uso desses resíduos pode ter implicações práticas como reciclagem e economia na produção de tijolos, com economia de matérias-primas.

Os valores obtidos com o uso de resíduos proveniente de cortes e polimentos de rochas ornamentais estavam em conformidade com as normas vigentes para uso em cerâmica vermelha (GONÇALVES, 2000).

No processo de produção de tijolos com lodo de marmorarias, este produto não mostrou reatividade durante o processo de endurecimento, sendo que sete dias de cura foram suficientes para o controle da qualidade do tijolo (PARK *et al.*, 2016).

Menezes *et al.* (2002) comentam que a adição deste resíduo nas massas cerâmicas para produção de blocos provoca uma elevação na absorção de água e uma redução na resistência à compressão simples, mesmo assim, blocos com teores de até 50% de resíduos apresentam características cerâmicas dentro das especificações da normalização.

Estudos demonstram que até 10% do peso do pó de mármore pode ser adicionado a uma amostra de tijolo sem interferir nas propriedades técnicas do produto final. Ao adicionar resíduos de mármore com teores maiores de 10% na mistura, há um aumento da absorção da água e diminuição da resistência mecânica (BILGIN *et al.*, 2012).

Ao comparar resíduos de marmorarias e materiais naturais como agregados, Cho e Yeo (2004) constataram que agregados residuais apresentam baixa massa específica, maior absorção de água e alta fluência de retração de secagem, sendo inviável seu uso como agregados em estruturas de concreto.

Segundo Gonçalves (2000), em estudos realizados para argamassas de assentamento, o uso do resíduo de corte e polimento de rochas ornamentais se comportou como fíler, demonstrando que este pode ser utilizado em argamassas

que não sejam apenas de assentamento. Este efeito filer determina sua trabalhabilidade, sendo a capacidade e facilidade com que a mistura pode ser adensada e moldada, quando ainda fresca, relacionada com a consistência, a coesão e estabilidade da mistura.

Matias *et al.* (2018) afirmaram que ao utilizar o resíduo de mármore em concretos como agregado miúdo, além de agregar valor ao resíduo descartado, apresentou características favoráveis como insumo na construção civil, com significativa redução do descarte inadequado ao meio ambiente.

2.8. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS - PNEUS

Assim como os resíduos sólidos, a deposição inadequada de pneus agrava o problema do passivo ambiental, resultado do processo de geração de resíduos de difícil eliminação. Deste modo, o poder público tem investido em instrumentos legais que podem contribuir para minimizar o problema ambiental causado pelo descarte incorreto (BRASIL, 2010).

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2017) o volume de produção (unidades de pneus) em 2015 foi de 68,63 milhões de unidades. Já o volume de vendas, que inclui a produção e importação, foi de 71,9 milhões de unidades, conforme exhibe a Tabela 1.

Quadro 4– Produção e Vendas totais de pneus no Brasil

	ANO(Números em milhões).								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Produção	59,7	54,1	67,3	66,9	62,6	68,8	66,7	68,6	67,8
Vendas	64,3	60,2	73	72,9	67,9	74,3	72,8	71,9	70,7

Fonte: Adaptado de ANIP (2017).

Ainda pelos dados (ANIP, 2017), aproximadamente setenta milhões de pneus são vendidos anualmente no país. Após a utilização, 46,8% serão de pneus usados que podem retornar ao mercado para reutilização em veículos ou submetidos a algum tipo de reforma e 53,2% são de pneus inservíveis (sem

nenhuma utilização), o que gera um volume de cerca de 100 milhões de pneus inservíveis com disposição inadequada (LAGARINHOS, 2011).

Com relação aos pneus inservíveis, 99,55% tem destinação ambientalmente adequada e regulamentada, conforme a meta almejada, se transformando em combustível de fábricas de cimento, fabricação de artefatos de borracha, aproveitamento do negro de fumo, além de uso na construção civil, e conforme o relatório de pneumáticos de 2018 (Resolução Conama nº416/09), 46,96% é encaminhado ao co-processamento, 36,84% tem destinação para granulação, 13,95% para laminação, e 2,26% para pirólise (IBAMA, 2019).

Segundo as recomendações do plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos - (PGIRPN, 2009), a destinação de pneus inservíveis deve ser desenvolvida com base nas tecnologias limpas e logística reversa, com o intuito de aproximar o processo produtivo até a condição de geração zero de resíduos.

A logística reversa pode ser definida como a destinação de pneus inservíveis baseada no processo de planejamento e controle desde a fabricação, distribuição, ponto de recuperação e ponto de disposição final após o uso (LAGARINHOS, 2013).

Para Moreira *et al.* (2010), a logística reversa pode ser entendida como a devolução de produtos até a remanufatura, podendo gerar um modelo de negócio visando recuperação do pneu inservível e sua reintegração como um subproduto, podendo ser equivalente ao inicial, conforme Figura 5.

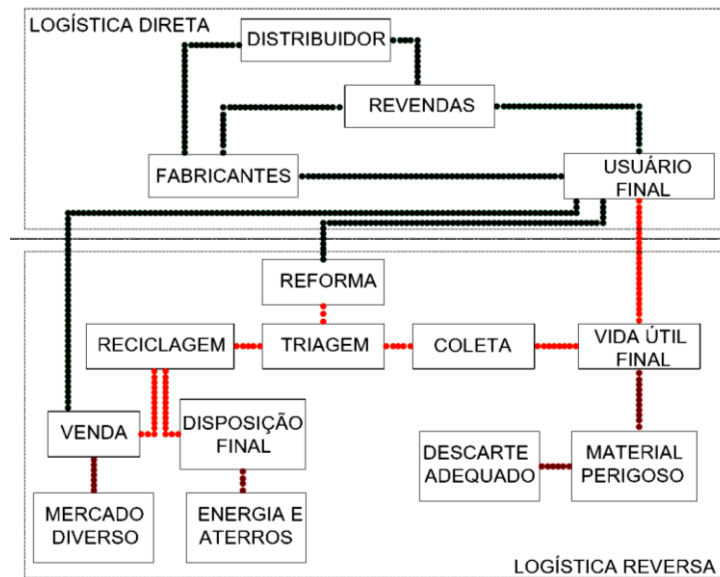


Figura 5 - Diagrama do processo de logística direta e logística reversa.

No Brasil, o sistema implantado é o de retorno com responsabilidade dos fabricantes de pneus e empresas importadoras, sendo que estes pneus são descartados quando trocados por pneus novos ou quando chegam ao final de sua vida útil, de modo que pneus passíveis de reuso podem ser restaurados e reutilizados, em processo conhecido como recauchutagem (BRASIL, 2010).

Macedo (2008) constata que os produtos provenientes da moagem da borracha podem ser utilizados como combustível, matéria-prima de elementos emborrachados e pavimentação asfáltica. Para que se torne viável, as partículas devem ser separadas (metálicas e nylon), e em alguns casos, pode passar por tratamento químico para desvulcanização da borracha.

Os pneus inservíveis são encaminhados para empresas de reciclagem ou podem servir como fontes energéticas, inclusive aplicadas na construção civil (MOREIRA *et al.*, 2010), conforme Figura 6

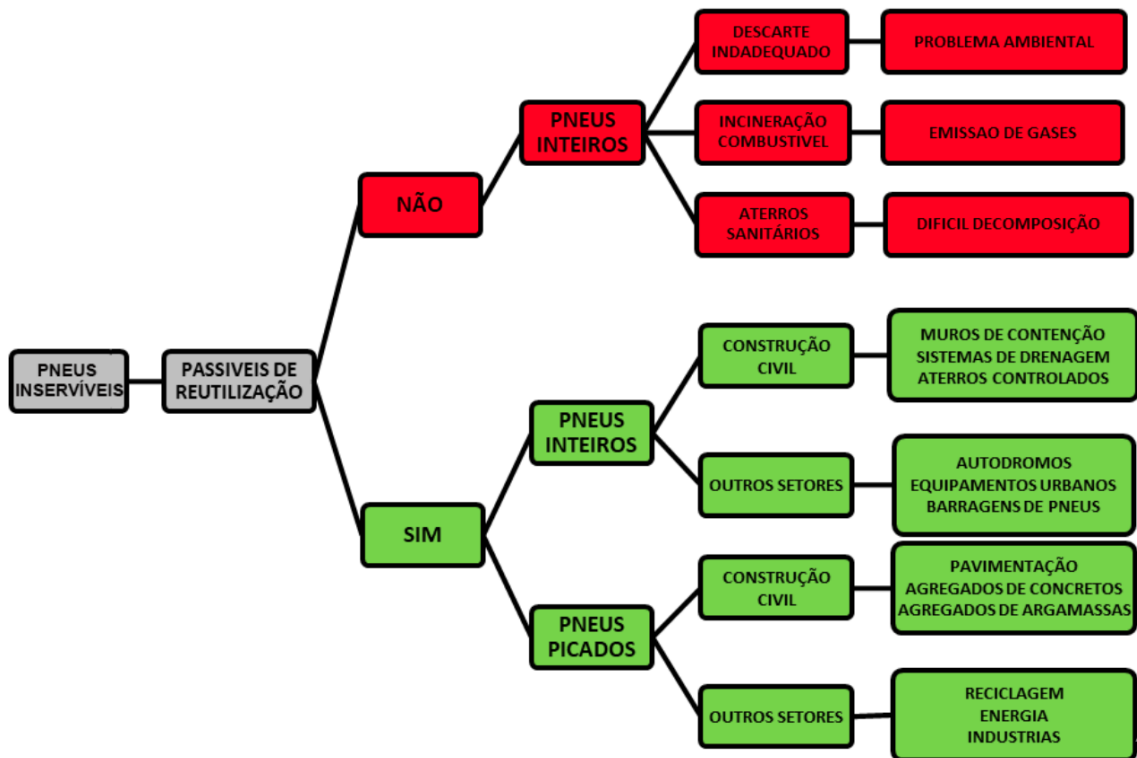


Figura 6 - Destinação de pneu descartado inservível.

A disposição de pneus inservíveis inteiros é inaceitável nos aterros sanitários, pois dificultam a compactação em razão de sua baixa compressibilidade. Além de reduzir a vida útil dos aterros, pode provocar o escorregamento do lixo, acumular gases no seu interior, e as fibras de borracha, por serem muito resistentes, causam a degradação do meio ambiente, mesmo que usados como barreiras de contenções (CANOVA *et al.*, 2007).

Ainda, Canova *et al.* (2007) afirmam que os resíduos da recauchutagem de pneus podem ser definidos como resíduos sólidos intratáveis, e que sua decomposição pode durar até 240 anos, embora existam oportunidades para reciclagem dos resíduos de pneus.

Existem processos que envolvem tanto reciclagem quanto a reutilização de pneus inservíveis. Macedo (2008) lista os possíveis usos: *i)* muros de arrimo; *ii)* drenagem líquida em aterros sanitários ou bacias de evapotranspiração (conter erosões); *iii)* para conter a força das águas em quebra-mares e barragens; *iv)* como estrutura de apoio nos autódromos (*guard rails*).

No estudo utilizando borracha na recuperação de asfalto nos teores de 15%, 25% e 35% pelo peso total da mistura, a avaliação pôde satisfazer as normas vigentes em todas as misturas (LEE *et al.* 2008).

As partículas de borracha nos asfaltos têm uma contribuição significativa sobre as qualidades de trabalhabilidade e melhoria de sua capacidade mecânica, mesmo em temperaturas de aproximadamente 390°C (ISMAIL *et al.*, 2011).

Além da melhoria do solo, já que o uso da borracha pode manter ou até mesmo melhorar as propriedades geotécnicas do solo natural, também contribui para resolver o problema da gestão de resíduos. No estudo de Signes *et al.* (2016) o teor de borracha ideal na mistura do solo foi de 3%, sendo seu uso adequado para pavimentação.

Promptthangkoon e Karnchanachetanee (2013) apontaram que solos de baixa resistência, misturado com até 15% de borracha e estabilizado por cimento, pode ser usado para construção de estradas.

Pesquisas realizadas por Oda e Fernandes Junior (2001) demonstraram que incorporar raspas de pneu em pavimentação asfáltica como composto de ligante asfáltico e 25% de borracha de pneu moído em remendos de asfaltos, apresentou vantagens em comparação ao asfalto convencional, pois reduz seu envelhecimento, aumenta sua flexibilidade e a suscetibilidade térmica.

Estudos apontam que a utilização de pneus inservíveis triturados sem tratamento químico tem obtido destaque como ligante na pavimentação asfáltica, pois melhorou a resistência contra deformação quando exposto à altas temperaturas, além de maior elasticidade, evitando trincas por fadiga (CANOVA *et al.*, 2007).

Segundo Cempre (2018), os pneus inservíveis podem ser transformados em pó de borracha, que por processo mecânico de granulação através de peneiras e aspiração, o que permite menor custo e menor impacto ambiental em comparação ao processo químico.

Ao utilizar raspas de pneu, as dificuldades relacionadas à reciclagem de pneus surgem em razão da complexidade na estrutura e composição da borracha, que, devido à sua elasticidade, podem produzir deformação do produto (LIN e TENG, 2002).

Nessa perspectiva, Andrade (2014) afirma que novos processos e novas tecnologias tem se destacado como alternativas de reciclagem sugerindo minimização do problema dos pneus inservíveis, através de:

- i)** Desvulcanização ou regeneração da borracha de pneus - Processo de recuperação dos pneus que separa a borracha vulcanizada de outros componentes, a partir da utilização de solventes. (Ex.: *Nylon* e metais);
- ii)** Pirólise – Processo da quebra de moléculas por meio de energia térmica (ROMBALDO, 2008). A partir da degradação térmica com ausência de oxigênio, resulta em óleos e gases e utilizados como combustível (MACEDO, 2008);
- iii)** Queima – Processo para fornecimento de energia, com maior poder calorífico que a madeira ou o carvão, portanto, devido aos gases gerados como o dióxido de enxofre e a amônia, provoca risco à saúde, tornando necessário o tratamento desses gases (MACEDO, 2008).

Outras formas de reaproveitamento dos pneus inservíveis é substituir o carvão, como combustível alternativo nas indústrias de cimento, de pisos, na produção de asfalto e na produção de elementos cimentícios, como concretos ou argamassas (ROMUALDO *et al.* 2011).

Segundo Lagarinhos (2011), a queima de pneus inservíveis não é considerada prática de reciclagem pelo IBAMA, pois requer uma regulamentação específica, assim como sua utilização em processos industriais como combustíveis para queima, conforme a resolução do Conama nº416/09.

Para que a borracha não apresente elasticidade, pode ser realizado processos de pirólise ou incineração. No Brasil a atividade de incineração, representa uma alternativa de reaproveitamento energético, e redução de até 90 % de volume e 75 % em massa de resíduo (GONÇALVES, 2000).

Para Rombaldo (2008), a pirólise de pneu inservível pode gerar valor agregado ao produto, ao produzir óleo combustível, gases e carvão ativado. O óleo e os gases resultantes podem ser utilizados como fonte de energia e o carvão ativado pode ser utilizado como elementos filtrantes em processos de tratamento de água e esgoto.

Porém existem limitações em seu uso, pois sua combustão pode resultar em liberação de enxofre e de outros gases tóxicos. Deste modo, os resíduos gerados pela incineração necessitam de tratamentos adequados que podem inviabilizar o processo, pois demandam aspectos técnicos complexos e custos elevados. Diante deste cenário, a reciclagem mecânica se apresenta como forma mais viável devido suas propriedades econômicas, técnicas e ambientais (KARAGIANNIDIS e KASAMPALIS, 2010). A utilização de borracha em forma de raspas como compósito no processo de produção de tijolos de solo-cimento tem a intenção de reutilizar este material para minimizar o impacto ocasionado.

Segundo Ghaly e Cahill IV (2005), as partículas de borracha podem ser usadas para substituir uma parte de outros agregados em uma mistura de concretos, reduzindo a resistência à compressão. Porém Alves, 2006, ao adicionar raspas de pneu e simultaneamente incorporar material pulverulento proveniente de rochas (conhecidos como filitos), proporcionou um aumento em sua resistência à compressão diametral simples.

Incorporar as raspas de pneu nas argamassas de revestimentos pode contribuir para melhor isolamento térmico das edificações e, segundo Alves (2006), podem melhorar alguns resultados por suas características específicas, tais como o módulo de finura (NBR-7217), massa específica (NBR-7251), massa unitária (NBR-7251) e diâmetro máximo (NBR-7217).

Apesar do descarte de pneus ser visto como causador de problemas ambientais, pode constituir como matéria prima, pois possibilita a redução de custos e proporciona lucro à empresa ao adotar práticas ecologicamente corretas.

2.9. ADIÇÃO DE BORRACHA EM ELEMENTOS CIMENTÍCIOS

A durabilidade da borracha é uma característica atrativa para a fabricação de produtos, e o reaproveitamento deste tipo de material proveniente da recuperação de pneus pode ser uma alternativa interessante.

A recuperação de pneus por meio de recursos mecânicos converte a borracha vulcanizada em um material leve, capaz de ser incorporado em um composto cimentícios, com vantagens específicas tanto físicas quanto mecânicas, pois a trituração reduz a borracha em pó fino, que pode ser utilizada nos diversos setores industriais, inclusive na construção civil (CEMPRE, 2018).

Martins (2004) destacou que o concreto convencional é o material com maior utilização na construção civil. Pesquisas visando diminuir o uso de matéria prima não renovável e melhorarias de propriedades do concreto a partir da inclusão de rejeitos na sua composição, apresentam uma alternativa viável tanto de caráter técnico quanto de caráter ambiental, sendo a borracha de pneu uma boa opção (LAGARINHOS, 2004).

Trindade *et al.* (2007), a partir de testes de elementos cimentícios produzidos com raspas de pneu, identificaram potencial para calçadas, blocos, pavimentos rígidos, enquanto Vita *et al.* (2007) verificaram que os concretos de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu apresentam elevada durabilidade.

Katuta (2010) apontou que substituir massa de areia por raspas de pneu gera bons resultados quanto à resistência à compressão, com teores de 7,5% nesta dosagem.

Canova *et al.* (2007) observaram um aumento de volume na mistura que recebeu pó de borracha, porém a relação do aumento de volume devido o aumento de borracha diminuiu a resistência à compressão, assim como observado por Fioriti *et al.* (2010): ao aumentar resíduos de pneus na mistura, ocorreu a queda de resistência à compressão, tal qual Marques *et al.* (2006) ao

constatar que concretos com borracha apresentaram menor resistência à compressão comparados aos concretos de referência.

Do mesmo modo, além da menor resistência à compressão, Yoneyama (2002) e Campos (2009), constataram que aumentar a raspa de pneu na composição de concretos tornaram a mistura e a moldagem mais difícil nos corpos de prova, com prejuízo da qualidade do seu acabamento.

A produção de tijolo usando resíduos sólidos industriais é útil para fornecer uma solução sustentável em potencial, de modo que utilizar resíduos de borracha para a produção de tijolos usando teores de 10% do peso da mistura apresentou como viável seu uso (RAUT *et al.*, 2011).

A potencial utilização de borracha para produzir tijolo leve obteve a resistência térmica melhorada assim como a resistência à compressão, ao que indica alta capacidade de absorção de energia, reduz o peso da unidade e introduz superfície mais lisa em comparação com os tijolos de concreto atuais no mercado (SHAKIR *et al.*, 2013).

Canova *et al.* (2007) destacaram que argamassas com adição do pó de borracha aumentaram o teor de ar incorporado, o que melhora a trabalhabilidade da argamassa, pois reduziu a quantidade de água de amassamento, embora a diminuição da massa específica resultou em aumento na retenção de água no estado fresco, assim como Mohammed *et al.* (2012) constataram que, ao introduzir borracha natural sem tratamento houve melhora de sua trabalhabilidade, ao se conseguir a relação ideal entre o fator água/cimento, apesar de apresentarem menor resistência a testes de compressão.

Em relação de raspas de pneu, os formatos granulares irregulares nos resíduos de borracha podem afetar o trabalhabilidade da mistura do concreto, pois causam atrito entre os materiais (CAMPOS e CAMPOS, 2018). Já partículas mais finas de borracha exibiram melhor empacotamento devido a sua forma mais arredondada em comparação às partículas maiores (NACIF *et al.*, 2013).

Na substituição de areia por raspas de pneu, teores acima de 5% apresentam um impacto significativo na resistência à compressão e tração, pois o aumento nessa porcentagem de borracha diminuiu a trabalhabilidade de bloco cimentícios, indicando seu uso em calçadas, *pavers*, caminhos de ciclovias, paredes de vedação e ornamentos (GRANZOTTO e SOUZA, 2013).

Devido a borracha ser mais leve que a areia, quando utilizada na produção de blocos cimentícios, estes apresentaram maior taxa de absorção de água à medida que se aumentava a quantidade de resíduo, podendo ser adotado até 20% de borracha em substituição ao agregado, sem perda relevante de resistência (SILVA *et al.*, 2017).

Silva (2014) observou influência na consistência da mistura ao substituir areia natural por raspas de pneu em concretos, pois a borracha causa menor valor do abatimento (*Slump test*) e, portanto, para manter a consistência do concreto deve-se aumentar a quantidade de água ou utilizar aditivo plastificante.

Campos (2009), em seu estudo de concreto com substituição de areia por borracha, alcançou o teor ideal de 6%, sendo o teor máximo de 13% sem prejuízos nas propriedades mecânicas. Teores acima dos 10% reduziram sua resistência, independente das partículas seja em formas de grânulos (trituração das carcaças) ou na forma de fibras (processo de recauchutagem).

Para Campos (2009), a quantidade ideal na composição do concreto sem que o mesmo diminuísse sua resistência e consumisse o limite máximo de cimento adotado foi de 10% (volume) em substituição de areia por raspas de pneu. Percentual esse que já tinha sido mencionado por Fioritti *et al.* (2007).

Pereira *et al.* (2015) observaram um acréscimo da resistência na ordem de 19,8% do sétimo dia para o décimo quarto dia de cura para os traços sem adição de borracha, e de 16,3% para os traços com adição de borracha neste mesmo período. Destacam ainda em seu estudo que a fibra da borracha pode ser responsável pela capacidade de absorção de esforços, proporcionando um efeito de “costura”.

Por outro lado, Yoneyama (2002), constatou que, para quantidades de borracha da ordem de 15% a 20%, as características do concreto se modificavam, tornando sua mistura e o seu amassamento mais difícil, o que também dificultou a moldagem dos corpos de prova, resultando em prejuízo da qualidade do acabamento das peças.

Marques *et al.* (2006) averiguaram que, para melhor trabalhabilidade da mistura em concretos, o valor máximo de adição de borracha deve ser em torno de 25% a 30% do volume total de materiais utilizados. Como a relação de água/cimento pode ser inferior ao traço de referência, apresentaram menores valores de resistência à compressão, o que pode ser melhorado através da incorporação de aditivos e plastificantes em concretos com borracha de pneus.

Conforme afirma Gomes (2002), o fator água/cimento ($f_{a/c}$) é o elemento determinante na resistência à compressão dos elementos cimentícios com ou sem resíduos de borracha, sendo diretamente influenciada pelas porcentagens de borracha nos diferentes traços.

Santos (2005) destacou que a adição do resíduo de borracha diminui a trabalhabilidade da argamassa, apresentando melhora se adicionado aditivo plastificante, da mesma forma que os níveis de relação água/cimento adotados não demonstraram bons níveis de trabalhabilidade, se mostrando insuficientes para hidratar o cimento. Compósitos fabricados com fator $a/c=0,4$ resultaram em maior porosidade, maior absorção de água e de permeabilidade, e menor resistência à compressão, com melhorias se adicionado o aditivo plastificante.

Quanto à absorção de água, Fioriti *et al.* (2010), afirmaram que quanto menor a porosidade de uma peça, menor a quantidade de água que ela absorve, conseqüentemente, maiores serão suas resistências mecânicas e suas características técnicas.

Canova *et al.* (2007) perceberam o aumento na absorção de água por imersão, sendo significativo para argamassa com teores de 12% de adição de pó de borracha. Fioritti e Akasaki (2004) constataram que quanto mais borracha

aplicada na mistura, maior a absorção de água, por conta dos vazios causados devido às características deste material.

Nesse sentido, Tay *et al.* (2000) afirmaram que amostras de concreto com cura por câmara úmida apresentaram maior resistência à compressão em relação à cura ao ar livre. O autor também acrescenta que qualquer material que contenha matéria orgânica em sua composição, por exemplo solo de cor preta, não deve ser utilizado para esta finalidade.

Para Campos (2009), elementos cimentícios acrescidos com resíduos de fibras de pneus que podem incluir outros resíduos de materiais alternativos em sua mistura, com redução dos custos e melhorias no aspecto termo acústicos.

Macedo e Tubino (2005) constataram que houve uma melhora nas características acústicas de placas cimentícias com adição das fibras de borracha, e comprovaram que quanto maior a porcentagem do resíduo maior o ganho com o isolamento acústico, melhorando o condicionamento térmico.

Adicionar resíduos de borracha em concretos produz uma queda significativa de sua resistência à compressão, onde os corpos de prova com teores de 5% de borracha apresentaram 8% de queda de resistência à compressão e os corpos de prova com teores de 10% de borracha apresentaram queda de aproximadamente 20% de resistência à compressão. Obteve-se como resultado o emprego de teores de 5% de borracha na confecção do concreto, sendo possível sua aplicação em produtos não estruturais como piso intertravados (CAMARGO, 2017).

Campos (2009) constatou nos testes de resistência à compressão simples que traços com substituição de areia por raspas de pneu nos teores de 10% de alcançaram 15 MPa, teores de 15% de substituição de areia por raspas de pneu alcançaram 12,2 MPa e traços com substituição de areia por raspas de pneu com teores de 20% de alcançaram 7 MPa nos testes de resistência à compressão simples. Concretos com substituição de areia por raspas de pneu no teor de 20% mais adição de finos de basalto alcançaram o valor de 8,3 MPa nos testes de

resistência à compressão simples, dentro dos padrões da NBR-6136, sendo que os testes de absorção alcançaram teor de umidade de 6,44%, demonstrando que ao aumentar a quantidade de raspas de pneu diminui a resistência a compressão, mas inserir finos de basalto aumenta sua resistência à compressão.

Barbosa (2006) verificou nos Concretos de Alto Desempenho (CADes) com adição de borracha que a resistência à compressão ficou inferior em comparação aos CADes sem adição de borracha. Porém, os CADes com cinzas de casca de arroz e borracha se mostraram melhores nos valores de resistências à compressão, assim como a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneu ao CADes demonstrou ser uma opção viável, devido desempenho das propriedades relacionadas à resistência mecânica.

Quanto ao índice de fissuras, Canova *et al.* (2007) atestaram que a argamassa que recebeu os teores de pó de borracha apresentou menores índices de fissuras visíveis em relação à argamassa de controle, com destaque para a argamassa que recebeu 8% de adição, que apresentou menor índice de fissuras.

Ao substituir 2% em volume da massa do concreto por borracha, Meneguini (2011) constatou que nos corpos de prova com borracha com gás de plasma em sua superfície, as fissuras nos concretos diminuíram em 15% em relação ao concreto com fibras de borracha não tratada.

Elementos como blocos de concretos com borracha, a princípio, são definidos para uso não estrutural, mas, se submetidos a ensaios de laboratório e suportar os limites mínimos de compressão, conforme a norma (NBR-7184) pode abranger esse uso (PGIRPN, 2009).

A incorporação de emborrachados do tipo EVA (etileno acetato de vinila) tem sido utilizado em setores da construção civil, sendo entre os polímeros, o mais utilizado atualmente para concretos asfálticos (SHINOHARA, 2012).

Já o uso de EVA em tijolos, a resistência diminui à medida que se aumenta o teor volumétrico deste resíduo, sendo que os valores obtidos na proporção de 80% de solo, 10% de cimento e 10% de resíduo de EVA em pó

obtiveram resistência à compressão com média 1,32 MPa, abaixo do valor mínimo de médias de 2 MPa, e valores mínimos de 1,7 MPa. Os resultados utilizando 10% de EVA nos testes de absorção de água obtiveram valores de 19,2% (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Silva (2014) identificou que incluir borracha no processo produtivo de tijolos de solo-cimento é pouco explorado, pois ao adicionar a borracha na pasta cimentícia pode ocorrer o aumento de microporos ao redor do agregado de borracha, resultando em pontos fracos e diminuição das resistências mecânicas.

As partículas de borracha com tamanho de 0,28 mm resultaram em maior densidade, menor porosidade aparente e resistência mecânica mais elevada. Aumentar a quantidade de materiais proporcionou a redução da resistência à compressão dos compósitos (NACIF *et al.*, 2013).

Segundo Yadav e Tiwari (2017), o máximo de teor de borracha foi entre 5% e 7,5% na mistura (com 6% de cimento), ao que sugere uso para paredes de vedação e sub-base de estradas de baixo tráfego.

No estudo de Özkul e Baykal (2007), estes relataram a inclusão de 10% de borracha retidas entre a peneira # 4 e # 10 em misturas com solo, que deram pico de intensidade comparável ao da mistura sem borracha (0,2 MPa / 0,3 MPa).

A inclusão de borracha de pneus a partir de estudos que definam parâmetros de sua utilização, pode melhorar algumas características como sua flexibilidade, elasticidade e capacidade de absorver energia e impacto. Deste modo, deve-se adicionar ao cimento mais 3% de água na mistura, de modo a facilitar a mistura e compactação mais eficaz dos materiais, pois as raspas de pneu funcionam principalmente como um elemento flexível, ao compensar a rigidez e fragilidade causada pela cimentação, o que pode melhorar a sua resistência, propiciando seu emprego como elementos cimentícios para a construção civil (CHAN, 2012).

Shahin e Hong (2010) afirmaram que fibras de borracha de pneus com granulometria entre 440 µm e 4 mm, variando teores de 1%, 4% e 7%, possuem

potencial para melhorar a ductilidade (maleabilidade) da mistura do solo-cimento estabilizado, no entanto diminuem a rigidez e a resistência final.

Ao adicionar à mistura de solo-cimento teores de raspas de pneu, pode-se reduzir significativamente a resistência à compressão, ao que CHAN (2012), ao aplicar dosagens de raspas de borracha gradualmente, constatou diminuição de resistência conforme aumentava a quantidade de raspas, e ao adicionar mais cimento na mistura, obteve melhores resultados, e para evitar a perda de umidade durante a cura, cobriu os tijolos para evitar exposição ao tempo.

Em relação ao empacotamento, Brandão *et al.* (2014) afirmaram que concretos com adição de raspas de pneu e pó de marmorarias apresentaram melhores resultados devido ao pó de marmorarias agir contra as perdas geradas pela borracha, e preencher os vazios provocados pela borracha, minimizando as perdas mecânicas nos testes de compressão.

Ahmed *et al.* (2014) ao utilizar resíduos de marmorarias verificaram um aumento nos valores de resistência à compressão e tração, aumento no módulo de elasticidade, resistência ao cisalhamento e maior dureza, assim como Ahmed *et al.* (2013) acreditam que resíduos de mármore e granitos podem ser utilizados em compósitos cimentícios simultaneamente com borrachas, visando principalmente economia de custo, e podem alcançar benefícios ambientais.

Isto demonstrou que o pó de marmorarias diminuiu a heterogeneidade do concreto, pois o efeito fíler, ao preencher seus vazios, hidrataram mais partículas de cimento e melhoram sua capacidade de resistência à compressão simples (BRANDÃO *et al.*, 2014; CAMPOS e CAMPOS, 2018).

Alves (2008) constatou que elementos cimentícios tais como o pó de calcário, de quartzo e de pedras ornamentais (pó de mármore ou granito), através de seu efeito fíler, que consiste no empacotamento dos grânulos dos agregados, além de apresentar um bom desempenho técnico, podem vir a competir com o tijolo de solo-cimento tradicional, por apresentar boa resistência e ser uma forma

alternativa na utilização de blocos ou tijolos para a construção civil (TAVEIRA, 1986).

Saffaro (2007) comenta que a padronização colabora na redução da variabilidade, pois estabelece metodologias com o intuito de solucionar problemas, por meio dos seguintes passos:

- i)* Definir uma estratégia, envolvendo um método e uma meta para atingi-la;
- ii)* Executar esta estratégia;
- iii)* Verificar a execução e os resultados desta estratégia e;
- iv)* Ajustar as anormalidades ao exercer o padrão ou desenhar um novo plano.

Na padronização pode-se discernir onde estão as fontes de desperdício e de recursos para atuar em redução de forma eficiente, com objetivos econômicos ou ambientais, tornando-se imprescindível o desenvolvimento de parâmetros que possam medir o desempenho do conjunto e fornecer dados para o desenvolvimento do produto final.

Para mensuração das porcentagens dos materiais empregados devem ser delimitadas e padronizadas as dimensões, dosagens e testes conforme as normas vigentes, para a produção dos elementos cimentícios.

A inclusão de raspas de pneu pode melhorar algumas características técnicas, demonstrando potencial para a produção de tijolos solo-cimento, assim como a adição de resíduos de marmorarias também tem seus benefícios através do seu efeito de empacotamento ou fíler. De acordo com esta análise, pode-se afirmar que este tipo de bloco pode apresentar capacidade técnica correspondente a um tijolo solo-cimento tradicional, além do impacto ambiental positivo, ao possibilitar uma destinação mais apropriada a estes rejeitos.

A produção de tijolos de solo-cimento utilizando raspas de pneus e resíduos de marmoraria em sua composição é um campo ainda inexplorado, e nestas constatações se baseiam a tônica deste trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura do trabalho pode ser descrita como:

- A natureza da pesquisa consiste em um estudo aplicado, que busca desenvolver conhecimentos para aplicações práticas a partir de um problema, ao buscar soluções para inserção de resíduos sólidos em tijolos solo-cimento;
- O objetivo da pesquisa pode se classificar como exploratório, pois a partir da identificação do problema, foram definidas condições experimentais para se atingir resultados satisfatórios;
- A abordagem combinada da pesquisa adotou abordagens quantitativas, por suas aplicações de metodologia experimental, e verificar à correlação entre identificação do problema e parâmetros estruturados para se atingir os objetivos propostos.

O procedimento metodológico embasado na abordagem quantitativa tem como objetivo uma condição exploratória e admite que se quantifique dados obtidos a partir de informações através de recursos estatísticos como porcentagem, médias, medianas, desvio padrão entre outros (OLIVEIRA, 2013).

Segundo Gerhardt e Silveira (2009), objetivos classificados como exploratórios proporcionam maior familiaridade com a situação, ao apurar conceitos, construir hipóteses e confirmar intuições com levantamento bibliográfico, entrevistas e análise de exemplos para compreender o problema.

Pode ter planejamento flexível ao considerar os mais variados aspectos relativos ao fato estudado (GIL, 2009; GIL, 2010).

Pesquisa é um sistema ordenado para diagnosticar um conjunto de fenômenos, sendo pesquisa experimental realizada a partir da observação e manipulação do objeto, com técnicas e procedimentos próprios (CANDIOTTO *et al.* 2011). Pode ser alicerçada a pesquisa com precisão das informações, para que o mesmo possa ser reproduzido posteriormente (PADOVANI, 2014).

Quanto aos procedimentos técnicos, optou-se por uma pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental (estudo de experimentos).

A pesquisa bibliográfica buscou estudar as abordagens de diversos autores para embasar o desenvolvimento do trabalho com o tema tijolo solocimento, com as seguintes palavras-chaves combinadas nas buscas: tijolo solocimento, raspas de pneu e pós de marmorarias. A partir desse levantamento bibliográfico, considerou-se o período os últimos cinco anos de publicações, entre 2015 e 2019. Contemplou, ainda, outros períodos como referências fora desse período citado, conforme a necessidade e relevância.

Para a pesquisa experimental, as etapas iniciam pela formulação do problema e das hipóteses, delimitam as variáveis que operam no fenômeno estudado e considera um plano de ensaios para verificar e validar teorias, ao selecionar as variáveis capazes de influenciar o estudo, definir formas de controle e observar os efeitos no objeto de estudo (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Esse planejamento permite o aprimoramento dos processos, a minimização das variações tanto de tempo de produção, de análises, de custos empregados e dos resultados (PINTO e SHWAAB, 2011).

Morett (2003) cita critérios de análise adotados em ensaios de laboratórios, juntamente com ensaios empíricos padronizados e orientados por limites de segurança pré-estabelecidos, que devem estar inter-relacionados para validar e tornar confiáveis os resultados encontrados.

Montgomery (2017) afirmou que as informações, para que possam ser processadas, devem ser coletadas já na entrada, a partir da matéria prima ou objeto (insumos) e alimentada por variáveis (controláveis e não controláveis).

Os estudos de experimentos e a análise estatística forneceram o significado de cada fator sobre as respostas, e os resultados da análise de para as respostas investigadas indicam quais os efeitos no sistema são estatisticamente significativos para os valores verificados.

Para análise dos resultados e verificação da análise de variância (ANOVA), os dados foram inseridos em planilha Excel[®], avaliados e apresentados de forma descritiva em média \pm desvio padrão, mediana, valores mínimos e máximos, representados e apresentados em gráficos e tabelas.

Para análise dos tijolos e comparação entre os grupos, foram utilizados os testes *t* para análise de pares combinados em EXCEL[®] e o teste ANOVA de 2 vias de medidas repetitivas, pelo “software” *Bioestat* (versão 5.0), com nível de significância adotado como valor de referência estabelecido em 0,05 (5%), de modo que se o *p*-valor é menor ou igual a 0,05 o efeito é considerado significativo.

O objetivo do experimento deve determinar as variáveis que poderão influenciar no processo, a fim de obter os itens de controle almejados, além de determinar as faixas de valores para verificar os fatores controláveis e não controláveis (MONTGOMERY, 2017). Devem-se considerar também os erros experimentais (MONTGOMERY, 2010; OLIVEIRA, 2013).

Segundo Werkema (1996) e Pinto e Schwaab (2011), algumas diretrizes são primordiais para estudo de um experimento, ao reconhecer o problema, escolher fatores e níveis, selecionar a resposta, escolher o planejamento experimental, realizar o experimento e concluir o experimento, para determinar os fatores preponderantes em uma pesquisa (NACIF *et al.*, 2013).

O estudo experimental foi determinado para formular procedimentos e produzir dos tijolos utilizando os RSU sugeridos e alcançar respostas, com parâmetros da matéria prima e componentes utilizados, ao Reconhecer o problema (tijolo solo-cimento com RSU) a partir do levantamento bibliográfico, escolher os fatores de influência (materiais naturais e reciclados) e sua aplicação, verificar a variável resposta (parâmetros de produção) a partir dos experimentos com traço de referência, planejar e realizar o experimento (produção, método de cura e resistência à compressão) para verificar parâmetros de desempenho, e finalmente, tirar as conclusões (desempenho dos tijolos) para verificar aplicabilidade e potencial comercial.

Os tijolos propostos para este trabalho possuem variáveis controláveis e não controláveis. As variáveis que podem ser controladas são o cimento, o solo, a raspa de pneu e os resíduos de marmorarias, que devem ter uma granulometria específica para este tipo de tijolo, assim como o tipo de prensagem utilizada por meio de prensas hidráulicas com carga determinada no *setup* da máquina. As variáveis não controláveis podem ser consideradas como características específicas tais como a umidade ótima, o tempo e o tipo de cura das misturas para determinar o traço ideal.

Para se obter os resultados, devem ser calculadas as médias para verificação da resistência dos tijolos por meio de compressão simples, pois o valor individual não deve ser menor que 1,7 MPa, almejando um valor médio de 2,0 MPa. Devem também ser realizados testes de absorção de água pelos tijolos (NBR-8491; NBR-10834).

Em relação à técnica de coleta de dados, utilizou-se a observação direta “*in loco*”, objetivando a obtenção de informações tanto no quesito de emprego de materiais, quanto na usabilidade do produto (tijolo solo-cimento) para checar a utilização de outros materiais, para compreender assim todo o processo produtivo de um tijolo solo-cimento (GIL, 2010; GIL, 2015; MIGUEL e HO, 2010). O equipamento utilizado para produzir os tijolos foi a prensa hidráulica, com capacidade de produção diária de 1.600 tijolos por dia.

Para o acompanhamento dos experimentos, utilizou-se como padrão para avaliação dos tijolos as dimensões de 7,5 cm x 12,5 cm x 25 cm, permitindo verificar os valores de resistência à compressão e mensurar a capacidade produtiva como parâmetro de referência. Este procedimento foi realizado para posteriormente avaliar a dosagem dos materiais, nivelando os parâmetros com os mesmos valores a partir do traço 1:10 (cimento: solo) como traço de referência. Posteriormente, foi substituído solo por raspas de pneu nos traços de 1:8:2 (cimento: solo: raspas de pneu) e também por resíduo de marmorarias 1:8:0,5:1,5 (cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias).

Quanto à técnica de análise dos dados, as informações devem ser processadas e organizadas (MARTINS, 2010) e a partir da conexão entre observações repetidas em um experimento, produzir dados para a análise destes resultados (RUSHING *et al.*, 2014). Este processo permite a replicação do processo com a distribuição de insumos, a estabilização dos tijolos solo-cimento, tempo de cura, armazenamento e ensaios, com parâmetros para análises de dados, fornecendo subsídios para planejar e delinear outros experimentos, para definir as variáveis qualitativas e quantitativas (PINTO e SCHWAAB, 2011 e MIGUEL, 2012).

Tal procedimento tem como objetivo reduzir o tempo de trabalho com novos ensaios, a fim de elaborar conclusões a partir dos resultados qualitativos, tornando o trabalho mais eficiente e evitando o método de tentativa e erro (CRUZ e RIBEIRO, 2003).

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS E MÉTODOS APLICADOS

A partir do plano de experimentos utilizando uma mistura de referência para determinar o traço inicial, foi realizada a adição parcial e gradativa de raspa de pneu e resíduos de marmorarias, para a produção dos tijolos com diferentes traços.

O plano de experimentos foi montado seguindo o que sugere o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), onde, segundo Padovani (2014), a *casualização* pode alicerçar o projeto com veracidade e precisão das informações, e a *repetição* torna estes testes exequíveis com padronização.

Logo, um esquema fatorial 2x3 foi seguido, analisando-se três cofatores: matéria-prima base e a cura. O primeiro cofator, a matéria-prima base (solo e cimento), foi iniciado com traço de referência de 1:10 (cimento: solo) segundo recomendação da ABCP. O segundo cofator foi iniciado considerando o tempo de cura: sete dias e vinte e oito dias. Um terceiro cofator foi o tipo da cura do tijolo, sendo: cura ao ar livre (seca e à sombra), cura por rega e cura em câmara úmida.

Devem-se considerar as interações entre os cofatores, ou seja, com o mesmo traço, após o método de cura e tempo de cura do tijolo, para verificar a resistência à compressão.

Para a caracterização dos materiais e análise granulométrica, foi utilizado um solo livre de matéria orgânica submetido ao teste de granulometria, baseado nos parâmetros de peneiramento fino (NBR-7181) e utilizado solo 100% passante na peneira 4,8 mm.

Para delinear o traço de referência, foi efetivada uma mistura com teores de 1:10 (cimento: solo) em volume, utilizando 10% de cimento do volume de cimento no traço, com homogeneização da mistura ainda seca com dosagens efetuadas em recipiente cilíndrico de 10,2 L para dosagem dos agregados miúdos e um borrifador de 1,5 L para a água para amassamento da mistura, com ensaio de análise táctil-visual para verificar sua estabilização e posterior moldagem os corpos de prova e posteriormente em prensa hidráulica.

A mistura dos componentes foi realizada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade nominal de 120 L. Inicialmente foram adicionadas as porções de cimento, acrescido das porções de solo, bem como a água de amassamento.

A betoneira foi acionada por dez minutos, a fim de promover a mistura íntima entre o cimento e o solo. Ao término do amassamento, foi avaliada a consistência da massa por meio de verificação manual e, na sequência, procedeu-se a moldagem manual dos corpos de prova para que, após a cura, fossem realizados os ensaios de resistência à compressão.

Após o processo de mistura, transferiu-se imediatamente a mistura para o corpo de prova e executou-se a prensagem, sendo que foram retirados os corpos de prova das fôrmas e colocados à sombra, mantidos durante os sete primeiros dias em câmara úmida. Após este período, foram submetidos a ensaios de compressão em prensa hidráulica, para verificar sua resistência à ruptura.

Para determinar a resistência do traço de referência, a cura ao ar livre (seca e à sombra), a cura por rega e a cura em câmara úmida no traço de

referência 1:10 (solo: cimento), foram moldados os corpos de prova cilíndricos nas medidas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para avaliação da estabilização da mistura, através de ensaios de compressão simples, de acordo com o procedimento da NBR-12024, conforme ilustrado na Figura 7.

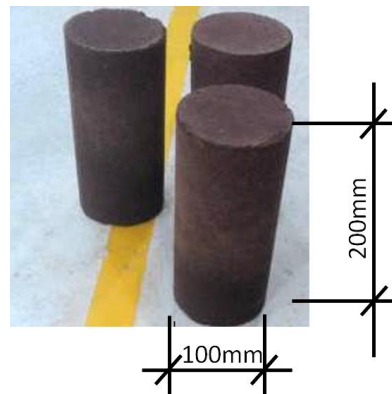


Figura 7 - Corpos de prova cilíndricos.

Foram definidas as seguintes características para os traços: *i*) solo, cimento e água; *ii*) solo, cimento, raspas de pneu e água; *iii*) solo, cimento, raspas de pneu, resíduo de marmorarias (pó de mármore e granito) e água.

Segundo dados fornecidos pela revisão bibliográfica, os tijolos de solo-cimento foram produzidos somente com solo e cimento adicionando água, com teores iniciais em torno de 10% nos traços 1:10 (solo: cimento) e posteriormente foram adicionados os teores de materiais residuais, para que fosse possível estabilizar e compactar elementos solo-cimento com resistência mínima necessária do composto ao que teores são recomendados (Quadro 5).

Quadro 5 – Teores de cimento em misturas para tijolos solo-cimento.

TIJOLOS SOLO-CIMENTO	
Teores de cimento	Autor
3,5% - 10%	Souza <i>et al.</i> (2011)
5%	Smith (1974)
5% - 10%	ABCP (2017)
7%	Vieira Neto (2012)
7,5%	Akinmusuru (1984)
7,5% - 10%	Valle (2001)
15%	Alexandre <i>et al.</i> (2015)

Foram desenvolvidos novos traços incorporando na mistura de referência raspas de pneus, aumentando gradativamente a quantidade de solo e raspas, assim como a dosagem de água para encontrar um traço adequado.

Os traços foram identificados com diferentes nomenclaturas e proporções, sendo a proporção de materiais nos traços utilizando cimento: solo: raspas de pneu como o M01, com teores de 1:5:1 e 1,35 L de água; M02, com teores de 1:5:2 e 1,45 L de água; M03, com teores de 1:5:3 e 1,65 L de água; M04, com teores de 1:6:2 e 1,950 L de água; o M05 com teores de 1:7:2 e 2,6 L de água e o M06 com teores de 1:8:2 e 3,2 L de água.

Para o amassamento da mistura, foi realizado em betoneira de eixo inclinado, com capacidade nominal de 120 L. Inicialmente foram adicionadas as porções de cimento, acrescido das porções solo bem como a água de amassamento. A betoneira foi acionada por dez minutos, a fim de promover a mistura íntima entre o cimento e o solo. Em seguida, foram adicionadas as raspas de pneu com mais cinco minutos de mistura para homogeneização e, posteriormente, foi adicionado água para alcançar a estabilização do traço.

Na revisão bibliográfica, a substituição de materiais não renováveis como agregados miúdos, a exemplo da areia por raspas de pneus em concretos, orientaram os valores para produção dos tijolos propostos neste trabalho, conforme indicado no Quadro 6.

Quadro 6 – Teores de substituição de areia por raspas de pneu em concretos.

CONCRETOS	
Teores de raspas de pneus	Autor
5%	Granzotto e Souza (2013)
5% - 10%	Camargo (2017)
7,5%	Katuta (2007)
10,7% - 13,9%	Pereira <i>et al.</i> , 2015
6% - 10%	Albuquerque (2009); Fioritti <i>et al.</i> (2007); Akasaki (2002)
8%	Canova <i>et al.</i> (2015)
10% - 20%	Campos (2009)
12%	Canova <i>et al.</i> (2007)
15% - 20%	Yoneyama (2002)
20%	Silva <i>et al.</i> (2017)
25% - 30%	Marques <i>et al.</i> (2006)

Na revisão bibliográfica, a substituição do solo por raspas de pneus como agregados miúdos utilizando as partículas passantes na peneira # 4,8 mm na produção de tijolos solo-cimento, orientou os valores neste trabalho (Quadro 7).

Quadro 7 – Teores de substituição de solo por raspas de pneus em tijolos.

TIJOLOS SOLO-CIMENTO	
Teores de raspas de pneus	Autor
1% - 4% - 7%	Shahin e Hong (2010)
5% e 7,5%	Yadav e Tiwari (2017)
4% a 6%	Aharanwa (2012)
10%	Özkul e Baykal (2007)
0, 10, 15, 20, 25, 30 e 40%	Namboonruang (2013)
11%	Pereira <i>et al.</i> (2015)
16% - 28%	Campos e Campos (2015)
25%	Campos e Campos (2018)

Aharanwa (2012) encontrou os melhores resultados de compressão simples ao substituir por teores de 5% de raspas de pneus para a produção de tijolo solo-cimento.

Por fim, foram desenvolvidos novos traços incorporando na mistura de referência raspas de pneus e pó de marmorarias, substituindo gradativamente a quantidade de solo por raspas de pneus e pó de marmorarias, assim como a dosagem de água para encontrar um traço adequado.

O amassamento da mistura foi efetivado em betoneira de 120 L. Foram juntadas as porções de cimento, solo, raspas de pneus e pó de marmorarias para a mistura entre os materiais secos por dez minutos, ao que foi adicionada a água de amassamento na betoneira para homogeneização e, posteriormente alcançar a estabilização do traço.

Para utilização dos resíduos de lamas de marmorarias local, os resíduos de lodo de mármore foram secos no forno a 100° C durante 24 h e foram utilizadas as partículas finas passantes na peneira # 4,8 mm para retirada de elementos graúdos.

De acordo com a revisão bibliográfica, abaixo apresenta-se os valores encontrados sobre a utilização de resíduos de marmorarias como agregados

miúdos para tijolos solo-cimento, o que orientou os valores para produção dos tijolos propostos neste trabalho (Quadro 8).

Quadro 8 – Teores de substituição de solo por resíduos de marmorarias em tijolos.

TIJOLOS SOLO-CIMENTO	
Teores de resíduos de marmorarias	Autor
5% (serragem), 10% (adubo) 15% (mármore)	Quesada <i>et al.</i> (2012)
6% a 34%	Alves (2008)
10%	Bilgin <i>et al.</i> (2012)
15% a 20%	Saboya <i>et al.</i> (2007)
30%	Sutcu (2015); Lima (2010)
40%	Ribeiro e Hollanda (2014)
60%	Carvalho <i>et al.</i> , 2014
65%	Carvalho <i>et al.</i> (2014)

Agregados como raspas de pneu e pó de pedras na confecção de concretos podem ser utilizados simultaneamente, ao que Ahmed *et al.* (2013) encontraram economia de custo com benefícios ambientais, de modo que alguns trabalhos (Quadro 9) apresentam valores que servem como parâmetros para os tijolos solo-cimento propostos.

Quadro 9 – Concretos com substituição de materiais naturais por RSU.

ELEMENTOS CIMENTÍCIOS - CONCRETOS		
Teores de raspas de pneus	Teores de resíduos de rochas	Autor
15%	10%	Silva Neto (2014)
20%	15%	Campos (2009)

Em relação à substituição de agregados miúdos como raspas de pneu com pó de pedras ou cinzas pozolânicas na confecção de tijolos solo-cimento, encontrou-se os seguintes resultados (Quadro 10).

Quadro 10 – Tijolo solo-cimento com substituição de materiais naturais por RSU.

TIJOLOS SOLO-CIMENTO		
Teores de raspas de pneus	Teores de resíduos de rochas	Autor
10%	56%	Al-Fakih (2018)
20%	15%	Campos (2009)

Para determinar a quantidade de raspas de pneus e pó de marmorarias embasado tanto no traço de referência 1: 10 (cimento: agregados) como no traço utilizando raspas de pneus, foram determinados novos traços com diferentes nomenclaturas e proporções, sendo a proporção de materiais nos teores de para

traços utilizando cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias. Foram denominados como MM01, com teores de 1: 8: 0,5: 1,5; MM02, com teores de 1:7:1:2; MM03, com teores de 1: 7: 0,5: 2,5 (cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias), e; MM04, com teores de 1: 8: 0,25: 1,75 (parte de cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias). Para todas as misturas foi adicionado aproximadamente 3,600 L de água gradualmente até se obter a consistência homogênea e estabilizada, de modo que o uso de pó de marmoraria se apresenta viável com teores entre 5% a 20% (AHARANWA, 2012).

3.1.1. TRABALHABILIDADE E USO DE ADITIVOS PLASTIFICANTES

A trabalhabilidade significa a propriedade de um determinado material poder ser facilmente preparado e aplicado em obras ou em qualquer outra finalidade, podendo determinar se o material terá facilidade ou dificuldade no seu manuseio.

A avaliação da trabalhabilidade será determinada inicialmente com traço utilizando raspas de pneu e tempo de amassamento da mistura em betoneira, inserindo estes resíduos gradualmente na mistura são utilizadas as raspas de pneus e posteriormente na mistura que serão inseridos os resíduos de marmorarias.

Devido à interferência que estes materiais podem afetar a trabalhabilidade das misturas e devido à maior proporção de RSU inseridos, foi adicionado aditivo plastificante da marca MIRA 96 no teor de 1,15%, relacionados ao fator água/cimento, ou seja, para cada 1000 ml de água, foram adicionados 11,5 ml de aditivo plastificante. Após o uso do aditivo plastificante, foram efetuados testes de resistência a compressão para verificar a resistência à compressão aos sete dias de idade dos tijolos propostos

Este tipo de aditivo é indicado para concretos que apresentam poder de redução de água, e se enquadra nas características do tijolo de solo-cimento, pois requer menor quantidade de água para sua estabilização durante sua produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos para a conformação da matéria prima e caracterização dos materiais e as propostas de adição nos traços para cada uma das condições apresentadas.

Pode-se notar, por meio do ensaio de resistência à compressão, que a média obtida sem o pó de borracha foi de 5,37 MPa para a cura de sete dias e 6,43 MPa para cura de vinte e oito dias. Os valores resultados dentro dos parâmetros definidos pela norma para tijolos solo-cimento de vedação, e pode ser recomendada sua utilização, pois a norma preceitua que seja igual ou superior a 2 MPa (NBR-8491; NBR-10834).

Portanto, para que possa ser realizada a proposta de substituição parcial de raspas de pneu e de resíduos de marmorarias (pó de mármore e granito), devem-se realizar testes embasados na revisão bibliográfica, visto as particularidades destes materiais.

Por exemplo, com o aumento da quantidade de borracha nos traços, há a diminuição proporcional da resistência à compressão, assim como as raspas de pneu devem passar por processo de peneiramento, pois se deve limitar o tamanho das partículas para moldagem quanto à sua estabilidade.

Deve-se levar em consideração também que a adição de pó de marmorarias pode agir como agentes aglutinadores.

4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

Para a caracterização do solo, foram utilizadas como parâmetros as normas vigentes aplicadas pela ABNT para tijolos maciços cerâmicos e blocos vazados de solo-cimento, já que os solos devem ser caracterizados de acordo as normas NBR-6457, NBR-6459 e NBR-7181.

Na análise granulométrica do solo, o procedimento para conferir e determinar a granulometria, assim como os valores encontrados da massa seca retida nas peneiras e as suas respectivas porcentagens, foi executado conforme norma vigente (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise granulométrica do solo.

PENEIRA	ABERTURA (mm)	SOLO RETIDO (g)	SOLO RETIDO ACUMULADO (g)	MASSA PASSANTE (%)
16	1,19	0,07	0,07	99,94
30	0,59	0,99	1,06	99,11
40	0,42	5,14	6,20	94,83
50	0,30	5,81	12,01	89,99
100	0,15	13,19	25,20	79,00
200	0,08	5,10	30,30	47,75

Uma porção de solo *in natura* foi separada e seca e, posteriormente, destorroada com o auxílio de um almofariz de porcelana com mão de gral e uma peneira com malha # 4 (4,8 mm).

A curva granulométrica (Figura 8) apresenta a resultante do peneiramento fino do solo, sendo 100% passante na peneira de #4 (4,8 mm), garantindo que o solo empregado tenha característica de agregado miúdo.

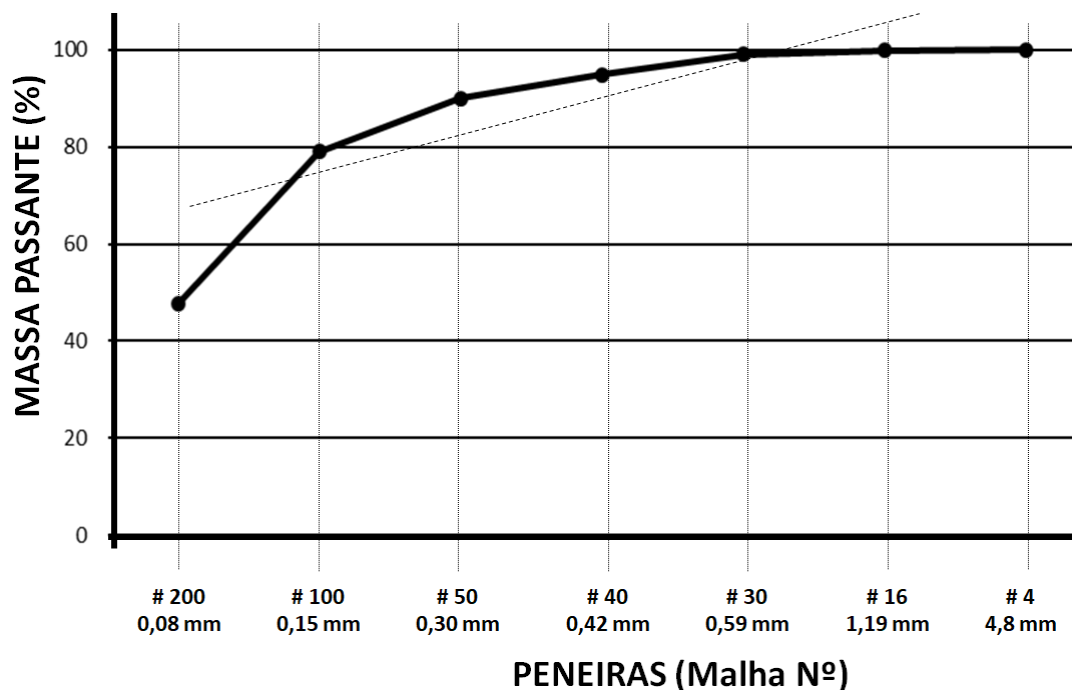


Figura 8 – Distribuição granulométrica do solo.

4.2. TRAÇO DE REFERÊNCIA

Para que o trabalho possa ter um valor de referência conforme solicita a norma de solo-cimento (NBR-10832 e NBR-10833), foi estipulado um traço inicial de 1:10 (cimento: solo), com cimento Portland CII Z32, solo típico da cidade de Campo Grande (MS) e água da rede pública de abastecimento.

Foi realizado um traço de 1:10 (cimento: solo) em volume, com teores conforme análise bibliográfica, com média de 10% de cimento, em recipiente cilíndrico de 10,2 L para os componentes sólidos e um borrifador de 1,5 L para a água, com ensaio de análise tátil-visual para verificar sua estabilidade e posteriormente para moldagem em prensa hidráulica.

Verifica-se que as amostras para as curas propostas, sendo cura ao ar livre à sombra, cura por rega e cura em câmara úmida, obtiveram resistências mínimas exigidas pela norma, que é valor superior a 2 MPa (Tabela 2).

Tabela 2 - Ensaio de resistência à compressão aos 07 e 28 dias.

TIPO DE CURA	RESISTÊNCIA (MPa) ^{07 DIAS}		RESISTÊNCIA (MPa) ^{28 DIAS}		P valor
	Média ± Desvio padrão	Variância	Média ± Desvio padrão	Variância	
Ao ar livre à sombra	5,19 ±0,65	0,43	6,87 ±0,23	0,05	0,02
Rega manual	5,65 ±0,17	0,03	6,11 ±1,01	1,02	0,41
Câmara úmida	5,27 ±0,15	0,02	6,31 ±1,35	1,83	0,20

Os corpos de prova com melhores resultados médios de resistência à compressão aos sete dias foram os tijolos submetidos à rega manual com 5,65 MPa, já os tijolos com menor resistência foram os submetidos a ar livre, com 5,19 MPa e os que obtiveram os resultados médios foram os curados em câmara úmida, com 5,27 MPa.

Em relação à cura aos vinte e oito dias, os tijolos que obtiveram os melhores resultados de resistência foram os submetidos à cura ao ar livre, com 6,87 MPa, os que obtiveram menor resistência foram os submetidos à rega manual que apresentaram 6,11 MPa e os que obtiveram os resultados na média de resistência foram os curados em câmara úmida, apresentando 6,31 MPa.

O melhor resultado com relação ao desvio padrão aos sete dias foi o tijolo com cura em câmara úmida $\pm 0,15$, porém aos vinte e oito dias o tijolo em câmara úmida obteve maior valor de desvio padrão $\pm 1,35$. Com relação à variância, os corpos de prova que apresentaram melhores resultados aos sete dias foram com cura em câmara úmida 0,02, porém, aos vinte e oito dias, o tijolo em câmara úmida obteve maior variância 1,35.

O valor de P para cura com rega manual foi de $P=0,41$ e com cura em câmara úmida com valor de $P=0,20$, sendo não significativa a diferença entre os grupos, já para a cura ao ar livre à sombra o valor $P=0,02$, conforme teste *t* em EXCEL[®], o que apresenta diferença significativa em relação aos outros grupos, pois resultados significativos devem ter $p\text{-valor} \leq 0,05$.

Os tijolos com cura ao ar livre apresentaram diferença significativa, assim como os valores medianos oscilaram nas idades de sete e vinte e oito dias, de modo que tijolos submetidos a rega manual e os submetidos à câmara úmida apresentaram valores condizentes com as normas vigentes, com bom desempenho de cura e dentro da média para resistência à compressão (Figura 9).

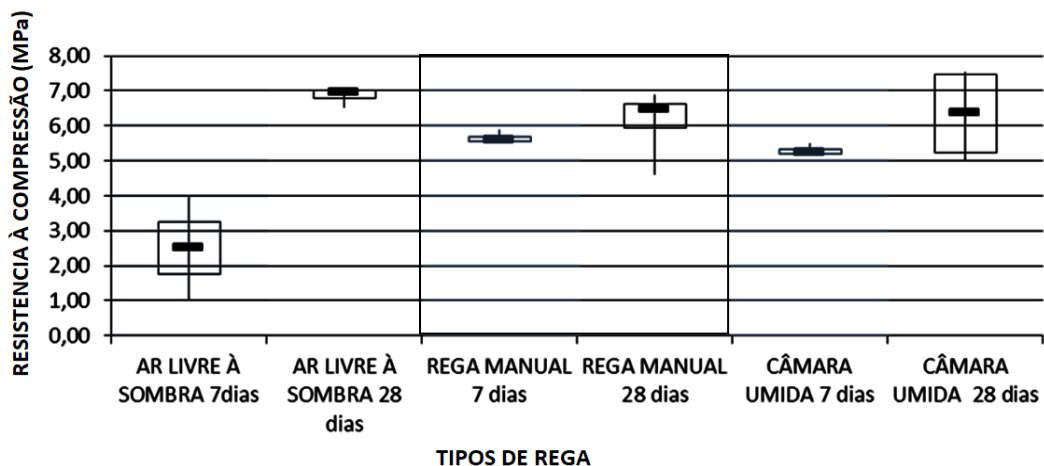


Figura 9 - *BoxPlot* do teste dos tipos de cura.

Em relação aos tijolos submetidos a cura por rega manual e cura em câmara úmida, estes não apresentaram diferenças significativas. Os tijolos com cura por câmara úmida apresentaram menor desvio padrão aos sete dias.

4.3. TRAÇOS COM RESÍDUOS

Foi determinada a capacidade de aglutinação dos materiais e seu manuseio a partir de experimentos utilizando-se os agregados propostos na mistura de solo-cimento com substituição gradativa de solo por raspas de pneu e pó de marmorarias. Isso para verificar que o estudo pode ser validado e propor como possibilidade na utilização de materiais alternativos para a construção civil.

Ao substituir nos traços partes de solo por diferentes proporções de raspas de pneu, embasados pela revisão bibliográfica e também pelas normas vigentes, aliado ao fator água/cimento ($f a/c$) para amassamento, deve-se verificar se a quantidade de borracha pode influenciar na trabalhabilidade da mistura. Orientados pela literatura, foram utilizados traços a partir da proporção mínima de 1:6 (cimento: solo) e média no teor de 1:10 (cimento: solo).

Essa dosagem foi realizada com o objetivo de se mensurar a quantidade de material a ser incorporado na mistura, sem que se perca as propriedades de resistência à compressão indicada pelas normas vigentes e sem diminuir as propriedades de estabilização da mistura.

Foram preparados traços de solo-cimento baseados no traço mínimo para tijolo solo-cimento conforme recomenda a ABCP, com teores de 1:6 (cimento: solo), e substituídos parcialmente por raspas de pneu, sendo um traço com valores de 1:5:1 (solo: cimento: raspas de pneu) denominado M01; um traço com 1:5:2 (M02), um traço com 1:5:3 (M03), um traço na proporção 1:6:2 (M04), um traço com 1:7:2 (M05) e por fim um traço com sugerido como ideal pela norma, com teores de 1:8:2 (M06) sendo a relação água/cimento variável, conforme a conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Traços e materiais utilizados.

	DOSAGEM (Kg)	M01	M02	M03	M04	M05	M06
Cimento	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
Terra	3,68	18,04	18,04	18,04	22,08	25,76	29,44
Raspas (pneu)	1,18	1,18	2,36	3,54	2,36	2,36	2,36
Água (ml)		1350	1450	1600	1950	2600	3200

Para estes teores, foi possível moldar seis corpos de prova. Após serem moldados, conforme norma NBR-10833, estes tijolos foram estocados e umedecidos em câmara úmida, para seu tempo de cura de sete dias. Após esse tempo de cura, os corpos de prova foram ensaiados de acordo com NBR-8492 e NBR-10833, para determinar qual resistência a partir da adição das raspas de pneu.

Ao definir a quantidade de cada item, cada material utilizado na mistura será dosado por seu peso (massa) para definir os teores de materiais necessários para a produção dos tijolos.

Para verificar a trabalhabilidade da mistura e determinar se o material terá facilidade ou dificuldade no seu manuseio, foram avaliados os teores de raspas de pneus adicionados nos traços a partir da dosagem de 1:6 (cimento: agregados), para que pudessem averiguar se a quantidade de materiais inseridos na mistura modificasse o tempo de amassamento (Tabela 4).

Tabela 4 - Ensaio de tempo de amassamento da mistura.

TRAÇO	CIMENTO	TERRA	RASPAS DE PNEU	FATOR ÁGUA/CIMENTO	TEMPO DE AMASSAMENTO
Referência	1	6	0	1,000	15 minutos
M 01	1	5	1	1,350	15 minutos
M 02	1	5	2	1,450	18 minutos
M 03	1	5	3	1,600	25 minutos
M 04	1	6	2	1,950	25 minutos
M 05	1	7	2	2,600	25 minutos
M 06	1	8	2	3,200	25 minutos

A avaliação da trabalhabilidade foi determinada com traço de raspas de pneu e tempo de amassamento da mistura em betoneira. Proporcionalmente, ao aumentar as raspas de pneu, a quantidade de água era aumentada, assim como o tempo de amassamento.

Conforme revisão bibliográfica, o aumento de raspas de pneu nos traços aumenta proporcionalmente a quantidade de água adicionada, dificultando o amassamento da mistura. Deste modo, deve-se considerar o uso de 5% de volume para não afetar a sua trabalhabilidade (GRANZOTTO e SOUZA, 2013).

4.4. MOLDAGEM E RUPTURA

Conforme sugere a norma (NBR-10833), a mistura de solo-cimento deve ser mecânica, obtida pelo processo de misturar o cimento ao solo destorroado e peneirado, até obter uma coloração uniforme e, logo após essa mistura ficar homogênea, deve-se colocar água aos poucos até que se atinja a umidade ideal de trabalho. A NBR-8491 recomenda que os tijolos maciços tenham resistência média de 2,0 MPa, e nenhum dos tijolos apresente resistência menor do que 1,7 MPa.

A mistura dos componentes foi realizada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade nominal de 120 L. Inicialmente, foram adicionadas as porções de cimento, acrescido solo e porções de raspas de pneu, bem como a água de amassamento. A betoneira foi acionada por dez minutos, a fim de promover a mistura entre o cimento e o solo. Em seguida, foram adicionadas as raspas de pneu com mais cinco minutos de mistura para homogeneização e, posteriormente, foi adicionada a água e misturada por mais dez minutos.

Ao término do amassamento, foi avaliada a consistência da massa por meio de verificação manual e, na sequência, procedeu-se a moldagem manual dos corpos de prova para que, após a cura dos mesmos, fossem realizados os ensaios de resistência à compressão.

Após o processo de mistura, transferiu-se imediatamente a mistura para o corpo de prova e executou-se a prensagem, sendo que foram retirados os corpos de prova das fôrmas e colocados à sombra, mantidos durante os sete primeiros dias em câmara úmida. Após este período, foram submetidos a ensaios de compressão, em prensa hidráulica, para verificar sua resistência à ruptura, ilustrado pela Figura 10.



Figura 10 - Corpos de prova cilíndricos submetidos a ensaio de compressão.

Em relação ao tempo de amassamento constatou-se que, ao adicionar raspas de pneu houve dificuldade na moldagem dos corpos de prova, e na retirada das fôrmas alguns corpos de prova se romperam a 1/3 de altura, demonstrando a fragilidade dos mesmos (Figura 11).

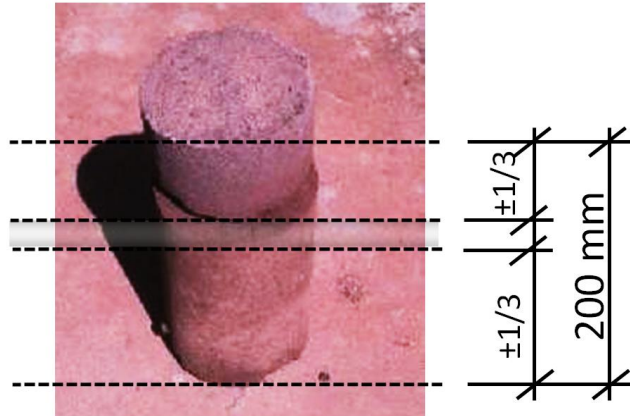


Figura 11 - Corpos de prova cilíndricos após retirada da fôrma.

No teste de resistência à compressão, notou-se que alguns corpos de prova romperam a 1/3 de sua altura total, similar aos corpos de prova que se romperam na retirada da fôrma (Figura 12).

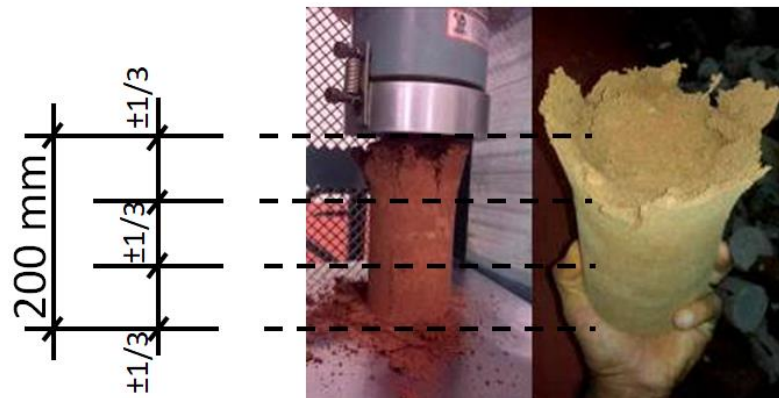


Figura 12 - Rompimento do corpo de prova.

Os corpos de prova apresentaram ruptura de topo, o que pode ter ocorrido devido aplicação de carga irregular, ou que a extremidade do corpo de prova apresentou alguma falha em sua constituição. Recomenda-se nos rompimentos de compressão para corpos de prova cilíndricos a ruptura cisalhada lateral, pois os planos inclinados em relação à direção da força aplicada apresentam à linha de rachadura na diagonal do corpo de prova.

Desde modo, o ideal para um rompimento uniforme deve ser na diagonal do corpo de prova (linha tracejada), ilustrado pela Figura 13.

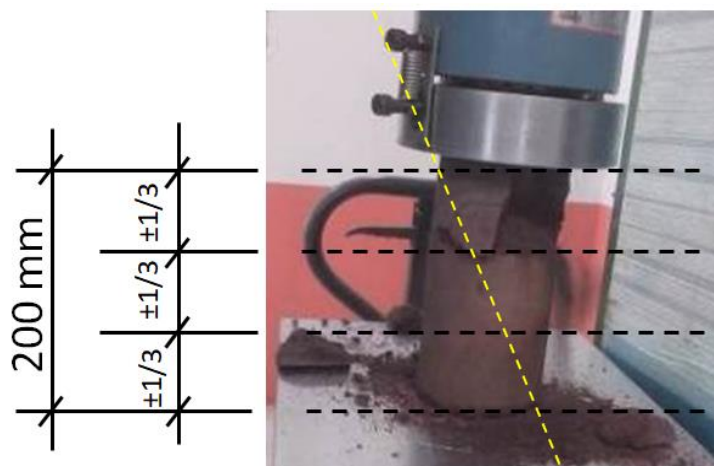


Figura 13 - Rompimento do corpo de prova.

Portanto, o traço apresentado deve ser reavaliado para que possam ser definidas as dosagens da mistura e o corpo de prova tenha um resultado satisfatório atendendo aos requisitos necessários para ser empregado em tijolos de solo-cimento.

4.5. EXPERIMENTOS DE TRAÇOS COM RESÍDUOS

Como traço geral, para a fabricação de tijolos de solo-cimento, o traço de referência sugerido pela ABCP possui teores de 1:10 (cimento: solo), de modo que se adotou para este trabalho variações de traços com inserção de materiais provenientes de descarte com estes mesmos teores de agregados na mistura.

Para análise de um traço rico em cimento com teores de 1:7 (cimento: agregados miúdos) e traços com menor quantidade de cimento na mistura com teores de 1:10 (cimento: agregados miúdos), foi possível verificar a quantidade de cimento para averiguar a viabilidade do uso destes materiais provenientes de descarte, assim com a resistência à compressão e qualidade do produto nas misturas utilizando dosagens com inserção gradativa de RSU.

4.5.1. EXPERIMENTOS DE TRAÇOS COM RASPAS DE PNEU

Segundo a NBR-10833, que determina que deve ser utilizado solo 100% passante na peneira nº4 (# 4,8 mm), foram produzidos três traços com no mínimo 6 tijolos e cura mantida sob umidade por sete dias para ensaios de resistência à compressão.

Foram incorporados gradativamente RSU com traço 1:8, traço 1:9 e traço 1:10 (cimento: agregados miúdos) com inserção nestes traços de raspas de pneu, tornando o traço mais pobre em cimento, sem que o traço perca sua resistência solicitada para o tijolo de solo-cimento sem função estrutural.

Para cada parte de solo retirado dos traços apresentados, foram inseridas a mesma quantidade de raspas de pneu em volume. Os experimentos foram montados e analisados com os fatores utilizando a matéria-prima base (solo e raspas de pneu) e avaliando a idade de cura (07 dias).

Para o principal fator avaliado, que foi a resistência à compressão (em prensa hidráulica), foram testados seis traços com seis repetições cada, e realizada a análise estatística, apurados nos anexos deste trabalho.

À medida que se foi adicionando uma quantidade de raspas de pneu à mistura de solo-cimento, a partir dos valores iniciais com os traços denominados M01, na proporção de 1:5:1 (cimento: solo: raspas de pneu) com 1,35 L de água; M02, 1:5:2 (cimento: solo: raspas de pneu) com 1,45 L de água e M03, 1:5:3 (cimento: solo: raspas de pneu) com 1,65 L de água, este se validou conforme a verificação no embasamento teórico e nos testes preliminares realizados em laboratório.

Foram desenvolvidos novos traços, denominados M04, M05 e M06, aumentando gradativamente a quantidade de solo. O traço M04, na proporção 1:6:2 (cimento: solo: raspas de pneu) com 1,95 L de água; o M05 1:7:2 com 2,6 L de água e o M06 1:8:2 com 3,2 L de água.

Os resultados obtidos após o ensaio de compactação para obter os valores de resistência à compressão, a partir da adição das raspas de pneu, deram subsídios para mensurar a qualidade das diferentes misturas, e assim, verificar qual o traço ideal que servirá como modelo de referência para a realização de novos testes.

Constatou-se que, quanto maior as quantidades de raspas de pneu adicionadas nas misturas, menores ficavam os valores de resistência à compressão.

Para os próximos testes, foram mantidas as proporções de raspas de pneu na mistura, aumentando a quantidade de solo e água.

A partir destes elementos apresentados como referência, buscou-se moldar 06 corpos de prova com os mesmos parâmetros de granulometria relativos aos agregados miúdos, que permaneceram por 24 horas no interior dos moldes e, após este período, retirados para tempo de cura em câmara úmida por sete dias, conforme a norma estabelece.

Foi constatado que quanto maior a quantidade de raspas adicionadas nos traços, menores foram os valores de resistência à compressão.

Estes valores foram conferidos com a incorporação de RSU nas misturas sucessivamente e verificados que se apresentaram proporcionalmente inversos, pois aumentar a quantidade de raspas eleva a fragilidade dos tijolos, conforme a Tabela 5 (com tabela absoluta em anexo).

Tabela 5 - Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					P valor
	Média ± Desvio padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	
M01	3,42 ±0,63	0,40	3,56	2,57	4,19	>0,10
M02	2,47 ±0,34	0,11	2,40	1,99	2,98	>0,10
M03	1,24 ±0,20	0,04	1,19	1,01	1,58	>0,10
M04	2,15 ±0,33	0,11	2,09	1,74	2,64	>0,10
M05	2,50 ±0,42	0,18	2,57	1,82	3,00	>0,10
M06	3,16 ±0,32	0,10	3,10	2,76	3,71	>0,10

O valor de P foi de $P > 0,10$ e considerado significativo (ver apêndices), pois a variação entre a mediana das colunas é maior do que o esperado, apresentando diferença entre os grupos pelo teste de análise de variância.

Em relação aos valores de resistência à compressão, o traço M01 apresentou média de 3,42 MPa; já o traço M02 apresentou média de 2,47 MPa e o traço M03 apresentou média de 1,24 MPa. O traço M04 apresentou média de 2,15 MPa, o traço M05 apresentou média de 2,50 MPa, e por fim, o traço M06 apresentou média de 3,16 MPa, apresentando portanto, o melhor resultado.

Nos testes de resistência à compressão, os corpos de prova demonstraram ser resistentes e apresentaram melhores resultados nas misturas com mais solo no traço. Apesar do traço M01 apresentar melhor resultado, este consome mais cimento. Já o traço M06 foi considerado o melhor resultado, pois utiliza menor quantidade de cimento, e apresentar maior resistência à compressão.

Para produzir um tijolo com resultados satisfatórios, a análise para o processo mostrou-se adequada e um valor alcançado para o traço ideal foi o M06, a considerar os teores de materiais com 9,9% de cimento, 72% de solo e 18% de raspas de pneu, pois dentre os dados analisados anteriormente, foi o traço que obteve melhor resultado com maior quantidade de resíduos empregados, conforme ilustrado na Figura 14.

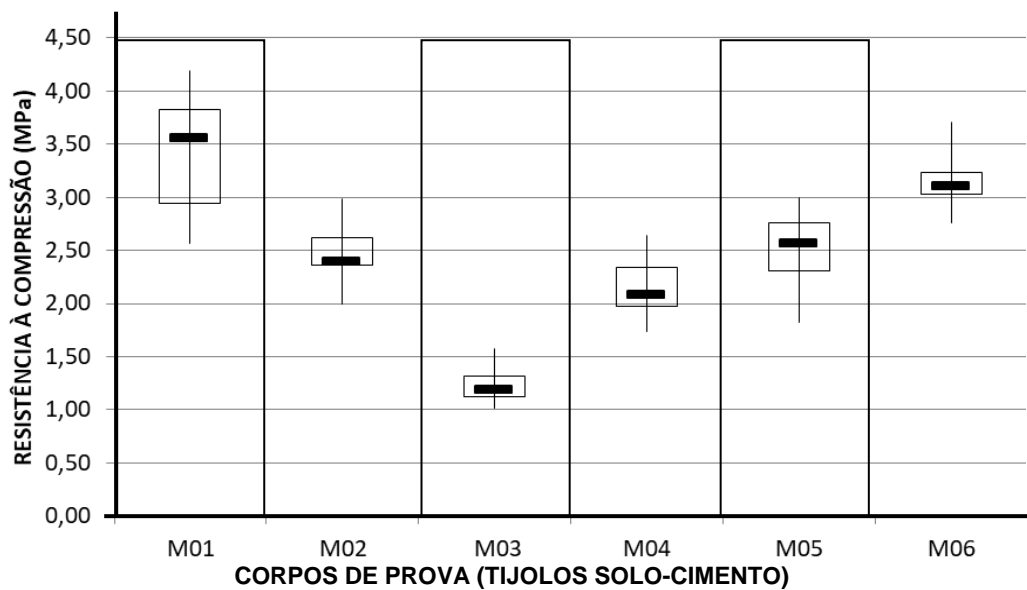


Figura 14 –BoxPlot de rompimento dos corpos de prova.

Com o propósito de avaliar os corpos de prova a partir do melhor desempenho, obteve-se como mais adequado o traço M06, pois atendeu ao teste de resistência à compressão (2,0 MPa), e constatou-se que os traço ficou homogêneo, estabilizado e com melhor aparência superficial.

Nos testes dos corpos de prova M06, estes foram rompidos no sentido diagonal, demonstrando estar bem estabilizados por ser distribuída a força de forma uniforme em seu rompimento, conforme a Figura 15.



Figura 15 - Rompimento do corpo de prova.

Como a proposta para a produção de tijolos busca uma produção seriada, foram desenvolvidos tijolos com o auxílio de prensa hidráulica. Conforme sugere a

norma, faz-se necessário destorroar o material, seguido de peneiramento do agregado (# 4,8 mm).

Na sequência, espalha-se o solo em superfície lisa, sobre a qual são distribuídos o cimento e a borracha para homogeneização. A mistura foi desenvolvida de modo que a água foi adicionada para a aglutinação dos aglomerantes (cimento) com os agregados (solo e raspas de pneu) até atingir a umidade ideal, e quando estabilizada, é realizada a prensagem do tijolo solo-cimento.

O traço denominado M06 1:8:2 (cimento: solo: raspas de pneu), demonstrou pouca estabilização na prensagem na máquina, ao qual sofreu deformação, uma vez que a borracha (raspas de pneu) voltava ao seu estado natural com fissuras horizontais (“desmanchando o tijolo”), pois a borracha se comprime na prensagem, voltando ao seu estado original no momento do desmolde.

Adotou-se novo traço experimental com menor quantidade de solo e de raspas de pneu, ou seja, a M07 1:7:0,5 (cimento: solo: raspas de pneu). Da mesma maneira que o traço anterior, este tijolo não se estabilizou, pois na retirada do equipamento se desintegraram, resultado de uma mistura frágil e de difícil manuseio. Com este traço, perdeu-se todas as dez peças produzidas, e observou-se também que os corpos de prova apresentaram uma aparência superficial porosa (Figura 16).

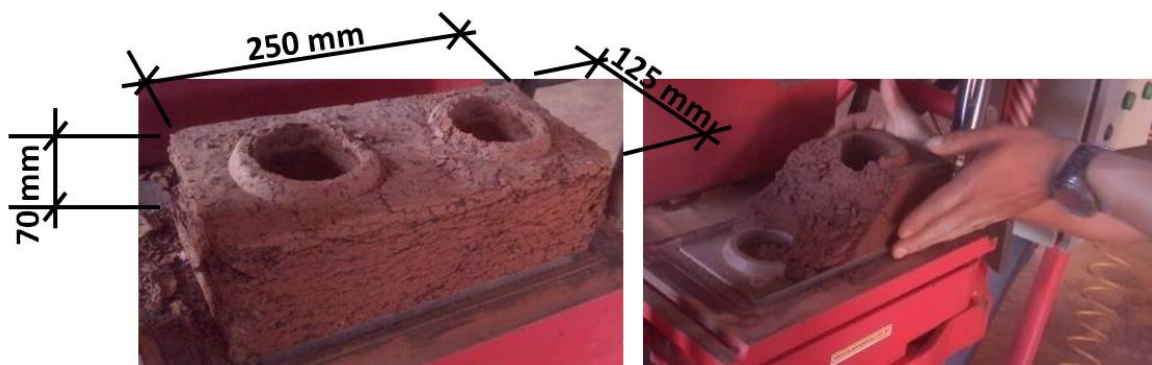


Figura 16 - Moldagem do tijolo do equipamento hidráulico.

Com a intenção de ajustar o traço proposto, foi desenvolvido um traço com diferentes solos, sendo referenciado como M08 e traço com teores de 1:(7,5):0,5 (cimento: [6: solo argiloso: 1,5 solo arenoso]: raspas de pneu).

Após homogeneizar a mistura, este traço demonstrou melhor resultado de estabilização inicial e moldagem. Portanto, sua aparência superficial apresenta pequenas fissuras, mas sem o aspecto de superfície esponjosa como os tijolos moldados nos traços M06 e M07 (Figura 17).

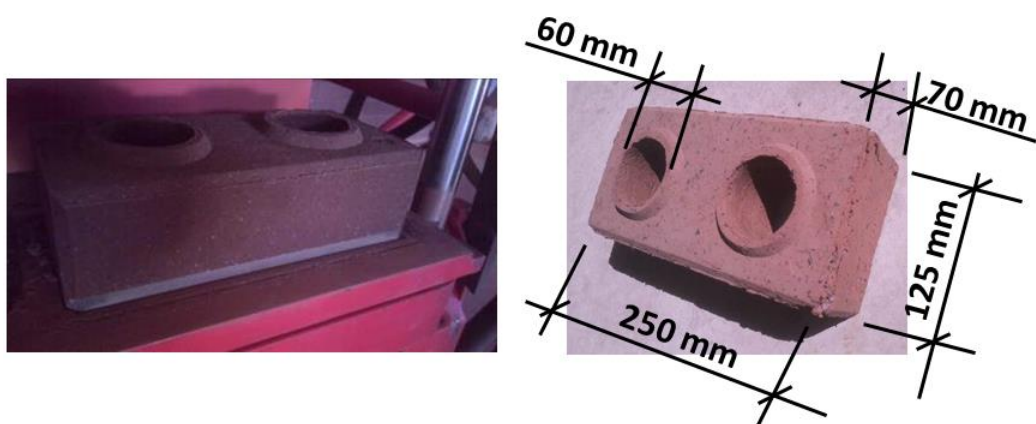


Figura 17 – Moldagem do tijolo do equipamento hidráulico.

Os tijolos que se mantiveram intactos foram depositados em local apropriado para cura, por um período de sete dias, para então serem submetidos aos testes de resistência à compressão. Para o ensaio de resistência à compressão, os tijolos foram colocados em prensa hidráulica (Figura 18).



Figura 18 – Ensaio de resistência à compressão em prensa do tijolo M08.

Os tijolos foram ensaiados aos sete dias de idade, embasado na NBR 8492/1984 com utilização de placas metálicas como sistema de capeamento não colado, o que apresentou resultados com valores médios de 2,51 MPa para os corpos de prova testados no próprio formato da peça aos sete dias (Tabela 6).

Tabela 6 - Ensaio de resistência à compressão dos tijolos.

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					P valor
	Média ± Desvio padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	
M06	-	-	-	-	-	-
M07	-	-	-	-	-	-
M08	2,52 ±0,17	0,03	2,58	2,26	2,64	>0,01

Nota: (-) Não estabilizou.

O traço M08 apresentou resultados para direcionar testes com relação a dois tipos de agregados finos: *i)* solo argiloso e, *ii)* solo arenoso. Ao incorporar solo arenoso no traço obteve-se melhor estabilização do tijolo, devido à sua granulometria.

4.5.2. EXPERIMENTOS COM TRAÇOS DE RASPAS DE PNEU E PÓ DE MARMORARIA

Foi proposta a adição de mais um tipo de material proveniente de descarte (RSU) como agregado miúdo, que são os resíduos de marmorarias (em forma de pó), por ter uma granulometria similar ao solo arenoso.

O pó a ser utilizado foi coletado em forma de lama, proveniente de corte e acabamentos em marmorarias. Este material foi utilizado como elemento aglutinador na mistura, com o intuito de diminuir os materiais naturais empregados e aumentando a utilização de materiais descartados.

Para incorporar este novo material em um traço ainda não avaliado, os procedimentos para determinar as massas específicas foram embasados nos testes pelo frasco de Chapman (NBR-9776), de modo que a massa específica do solo obteve média de 2,78 g/cm³. A massa específica da borracha obteve média de 0,82 g/cm³ e a massa específica do pó de marmorarias obteve média de 2,68 g/cm³.

Para que pudessem ser efetuados os novos traços propostos, foi determinado um volume calculado a partir de recipiente com capacidade de 3,0 L.

Posteriormente, verificou-se sua massa unitária e suas proporções. Essas proporções foram convertidas em quilogramas, de maneira a determinar a quantidade necessária para produção dos tijolos de solo-cimento (Tabela 7).

Tabela 7 - Volume e massa dos materiais investigados.

	RECIPIENTE	VOLUME (L)	MASSA (Kg)
Cimento	Ø=150mm / H=170mm	3 L	3,68
Terra	Ø=150mm / H=170mm	3 L	3,68
Raspas (pneu)	Ø=150mm / H=170mm	3 L	1,18
Pó (marmorarias)	Ø=150mm / H=170mm	3 L	2,86

Para determinar a quantidade de pó de marmorarias baseado no traço de referência 1: 10 (cimento: agregados), foram determinados dois novos traços, denominados como mistura MM01, com traço 1: 8: 0,5: 1,5 (cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias) e mistura MM02, com o traço 1:7:1:2 (cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias), adicionando água gradualmente até se obter uma consistência homogênea e estabilizada.

Posteriormente, foram definidos novos traços denominados MM03, com teores de 1: 7: 0,5: 2,5 (cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias), e também um traço denominado como MM04, com teores de 1: 8: 0,25: 1,75.

Os tijolos foram moldados e submetidos a testes de resistência à compressão após os sete dias, no formato de tijolo, conforme recomendação da NBR-10833 (1989), que orienta moldar no mínimo seis tijolos na própria prensa, e ensaiar os corpos-de-prova de acordo com as instruções da NBR 8492 ou NBR 10836 (três tijolos para resistência à compressão).

Podem ser utilizados outros métodos de ensaios, como a NBR-10834 (1994), onde devem ser realizados testes em dez amostras em um lote de dez mil tijolos produzidos ou a NBR-8491 (1984) e NBR-8492 (1984) onde deve se realizar testes em pelo menos treze corpos de prova aleatoriamente por lote, para tijolos produzidos em escala comercial. Portanto, esta norma se aplica para

produção em larga escala, o que não se aplica para este trabalho, que propõe um tijolo de solo-cimento com um traço ideal a partir da inclusão de materiais provenientes de descarte em sua mistura.

Verificou-se que os traços com pó de mármore se estabilizaram, são homogêneos e apresentaram melhor aparência superficial. Os traços MM01 e MM02 apresentaram maior rugosidade superficial e os traços MM03 e MM04 apresentaram melhor acabamento superficial e boa estabilização. Após prensados, foram empilhados e submetidos ao tempo de cura por sete dias, sendo posteriormente submetidos a testes de resistência à compressão.

De um modo geral, os tijolos apresentaram melhor estabilização no momento da mistura, na moldagem, retirada da prensa hidráulica e acabamento após adição do pó de mármore (Figura 19).



Figura 19 - Tijolo MM 01.

Os corpos de prova foram submetidos aos testes de resistência à compressão após sete dias, conforme NBR 8492 (Tabela 8).

Tabela 8 – Ensaio de resistência à compressão dos tijolos.

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					P valor
	Média ± Desvio padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	
MM01	0,91 ±0,16	0,02	0,88	0,69	1,13	>0,10
MM02	1,30 ±0,07	0,01	1,30	1,22	1,46	>0,10
MM03	2,87 ±0,22	0,05	2,99	2,33	3,04	=0,01
MM04	2,72 ±0,24	0,06	2,63	2,46	3,14	=0,09

O valor de P entre as misturas foi de $P < 0,0001$ (ver apêndices), considerado estatisticamente significativo, sendo que a MM01 é menor que a MM03 e MM04, mas MM02 é menor apenas que MM03, e que o traço MM03 não demonstrou diferença para o traço MM04.

Os tijolos com adição de RSU denominados MM01 e MM02 apresentaram resultados abaixo dos valores de referência estabelecidos pela norma vigente brasileira. Os valores médios de resistência à compressão para os tijolos MM01 foram de 0,91 MPa, e para os tijolos MM02 foram de 1,30 MPa, o que descartou o uso destes traços para produção de tijolos solo-cimento. Já os tijolos MM03 obtiveram uma média de 2,87 MPa e os tijolos MM04 obtiveram uma média de 2,72 MPa. Dentre esses valores acima do que a norma recomenda, foram analisados os valores das medianas, o desvio padrão e a variância destes traços para produção seriada.

Os traços MM03, além de possuir maior média comparado ao traço MM04 obtiveram também melhor valor da mediana, uma vez que o traço MM03 obteve mediana de 2,99 MPa e o traço MM04 obteve mediana de 2,63 MPa.

Pode ser conferido que o desvio padrão do traço MM03 foi de 0,225, menor que o apresentado no traço MM04, com valor de 0,239. A variância do traço MM03 foi de 0,045 e do traço MM04 foi de 0,051. Estes resultados definiram como traço ideal o MM03 (traço mais econômico conforme NBR 8491 e NBR 10834). Os valores individuais obtidos nos testes podem ser verificados nas tabelas absolutas apresentadas no anexo deste trabalho.

Nota-se que o aumento de inserção de solo, assim como aumento da porcentagem de raspas de pneu e pó de marmorarias nos traços apresentou melhoras na trabalhabilidade no amassamento da mistura, melhor acabamento e considerável ganho de resistência à compressão, comprovando o uso dos traços MM03 e MM04 e descartando os traços MM01 e MM02 (abaixo da média de 2,00 MPa exigida pela norma).

De acordo com os dados experimentais, a partir da padronização das medidas para o traço ideal, permitindo a produção de um tijolo com resultados satisfatórios, a análise de todo o processo demonstrou que o traço MM03 foi o ideal, pois obteve melhor resultado com maior quantidade de resíduos empregados no traço, conforme observado na Figura 20.

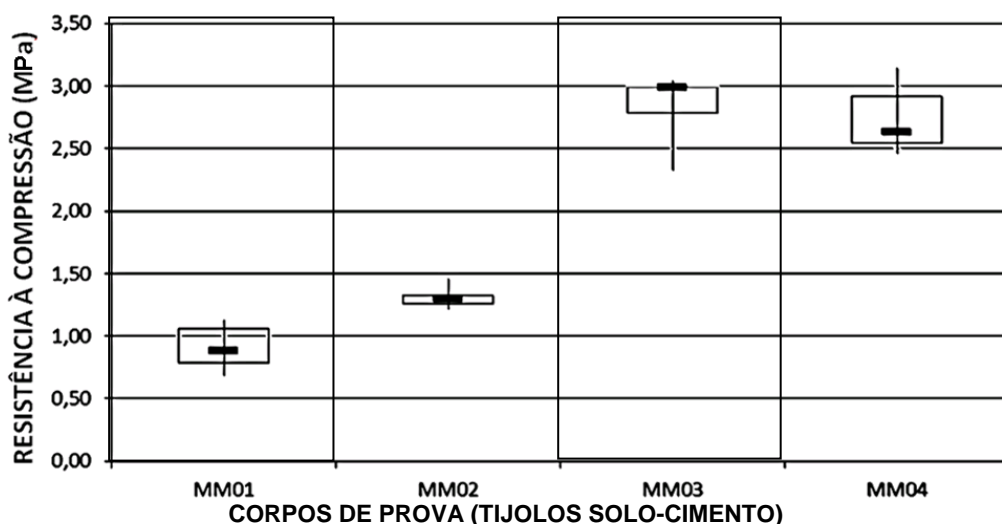


Figura 20 – *BoxPlot* de rompimento do corpo de prova.

Para averiguar qual a melhor a cura dos tijolos definidos como traço ideal, foi utilizada como parâmetro os tijolos MM03, sendo selecionadas as curas ao ar livre (seco e à sombra), por este tipo de cura ter apresentado maior resistência nos testes à compressão em 28 dias, e cura em câmara úmida, por ter obtido o melhor desempenho nos testes com os tijolos solo-cimento sem uso de RSU.

Os valores obtidos com as médias e medianas, assim como desvio padrão e variância, deram subsídios para definir qual o melhor tipo de cura, e o gráfico com a linha de tendência apresenta que o melhor resultado apresentado entre os traços, o MM03 foi o que se destacou mantendo a melhor resistência à compressão (Tabela 9).

Tabela 9 - Ensaio de resistência à compressão traço MM03.

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					P valor
	Média ± Desvio padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	
Ar livre à sombra	1,64 ±0,53	0,28	1,47	0,94	2,39	>0,10
Camara umida	1,83 ±0,59	0,35	1,88	0,85	2,64	>0,10

Os ensaios de compressão com cura ao ar livre à sombra obtiveram média de 1,64 MPa e em câmara úmida foi de média de 1,83 MPa. A mediana obtida com cura ao ar livre foi de 1,47 MPa e a mediana com cura por câmara úmida foi de 1,88 MPa. Já o desvio padrão para a cura ao ar livre foi de $\pm 0,53$ e o desvio padrão para a cura por câmara úmida foi de $\pm 0,59$. Por fim, a variância da cura ao ar livre foi de 0,25 e a variância a cura por câmara úmida foi de 0,31.

As médias e as medianas foram melhores por câmara úmida, portanto os valores de desvio padrão e variância foram menores com cura ao ar livre. Portanto, deve-se atentar que o lote dos tijolos submetidos a cura ao ar livre tiveram menor desempenho individual, pois apenas sete tijolos tiveram valores acima do recomendado, que é 1,7 MPa (ver apêndices).

Os valores obtidos (médias, medianas, desvio padrão e variância), deram subsídios para definir qual o melhor tipo de cura. A média das diferenças entre os traços MM03 com cura ao ar livre à sombra e cura em câmara úmida difere significativamente de zero, assim como o valor de P bicaudal é 0,4 (considerado não significativo).

O traço MM03 foi o que se destacou mantendo a melhor resistência à compressão por meio de câmara úmida, conforme apresentado no gráfico *BoxPlot* (Figura 21).

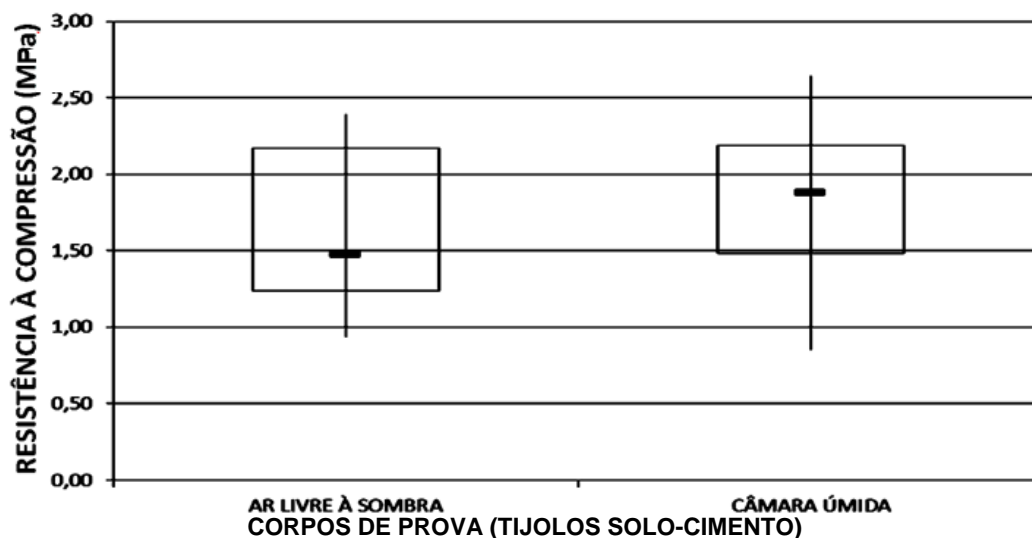


Figura 21 – *BoxPlot* de rompimento dos tijolos.

Em relação a cura, comparando a MM03 com cura ao ar livre à sombra e MM03 com cura em câmara úmida, a que apresentou melhor desempenho foi a MM03 com cura em câmara úmida, o que determinou como traço ideal o MM03 com cura por câmara úmida.

Em suma, os tijolos MM03 com cura por câmara úmida foram os que apresentaram melhores resultados, com teores de 1: 7: 0,5: 2,5 (9,09% cimento: 63,63% solo: 4,5% raspas de pneu: 22,78% pó de marmorarias).

4.5.2.1. CONFECÇÃO DE TIJOLOS MM03 COM ADITIVOS PLASTIFICANTES

Devido os traços MM03 e MM04 utilizarem maior proporção de RSU inseridos na mistura, e apresentar menor trabalhabilidade, foi adicionado aditivo plastificante da marca MIRA 96 no teor de 1,15%. Após, foram ensaiados para verificar a resistência à compressão aos sete dias de idade.

Os tijolos com traço MM03 apresentaram, além de boa resistência de compressão, um bom acabamento superficial, sem fissuras horizontais ou com características esponjosas (Figura 22).



Figura 22 - Tijolo moldado com traço MM03.

Após os testes de resistência à compressão aos sete dias de cura, foi possível a visualização dos grânulos de pó de marmorarias em sua estrutura (Figura 23).



Figura 23 - Tijolo com traço MM 03 após teste de rompimento.

Foram percebidas melhoras na trabalhabilidade no amassamento da mistura, assim como melhor acabamento e ligeiro ganho de resistência à compressão, pela utilização do aditivo plastificante no traço.

Os resultados foram determinados a partir do traço MM03 e MM04, e foram definidas novas nomenclaturas para a inserção de aditivos plastificantes, sendo estes como MM03^{Aditivos} e MM04^{Aditivos}.

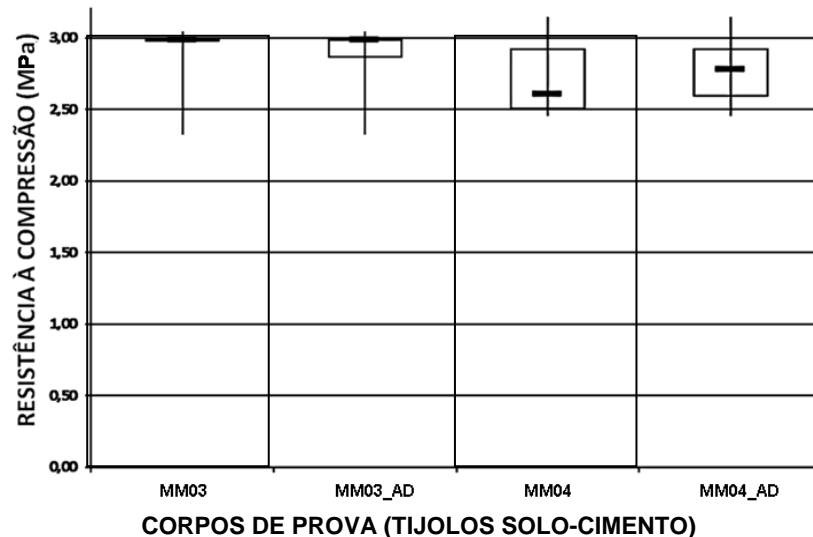
A média obtida foi de 2,84 MPa para tijolos MM03^{Aditivos} e média 2,78 MPa para os tijolos MM04^{Aditivos} (Tabela 10), de modo que os dados absolutos podem ser verificados na tabela no anexo deste trabalho.

Tabela 10- Ensaio de resistência à compressão dos tijolos MM03 e MM04.

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					P valor
	Média ± Desvio padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	
MM03	2,87 ±0,30	0,09	2,99	2,33	3,04	=0,01
MM03 ^{Aditivos}	2,84 ±0,29	0,09	2,99	2,33	3,04	=0,07
MM04	2,73 ±0,29	0,08	2,61	2,46	3,14	>0,10
MM04 ^{Aditivos}	2,78 ±0,27	0,07	2,78	2,46	3,14	>0,10

Os corpos de prova com aditivo plastificante que apresentaram melhores resultados de resistência à compressão, foram os do traço MM03^{Aditivos}, embora não tenha alcançado significância estatística, visto o valor de p maior de 0,05. Portanto, não houve diferença significativa entre MM03, com ou sem aditivo e MM04, com ou sem aditivo.

Pela análise de variância (ANOVA), os corpos de prova que apresentaram melhores resultados e menor variação foi o traço MM03, por isso a mistura MM03 não necessita de aditivos plastificantes, pois se obteve as mesmas médias no traço MM03^{Aditivo}, além de uma diferença ínfima na resistência à compressão no traço MM04^{Aditivo}, de modo que o processo se manteve padronizado e estável, conforme o gráfico *BoxPlot* (Figura 24).

Figura 24- *BoxPlot* nos traços MM03 e MM04 com e sem aditivos.

Portanto, adotou-se como traço ideal o MM03, pois nos testes de resistência a compressão todos os tijolos apresentaram resultados de compressão acima dos valores mínimos estabelecidos pela norma, além de ausência de benefícios ao utilizar aditivos plastificantes.

4.5.2.2. ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os tijolos com traço de referência (M01) e os tijolos com o traço ideal (MM03) foram submetidos a testes de absorção de água, de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 8492 (1984).

Para o teste de absorção de água, realizado após os 28 dias submetidos à cura por câmara úmida, os tijolos foram selecionados em amostras com o seus pesos natural, e posteriormente levados à estufa a uma temperatura de 110°C durante 24h, para obtenção do valor da massa seca (M_1).

Após esse período, foram retirados da estufa e imersos na água em balde até que os tijolos submergissem por completo, durante um período de 24h, e retirados um a um, secados superficialmente e levados para a balança para obter a massa saturada (M_2), usando-se a seguinte equação:

$$A\% = (M_2 - M_1 / M_1) \times 10 \quad (Eq.1)$$

Onde:

A%: absorção de água **M1: Massa seca** **M2: Massa saturada**

Conforme recomendação da NBR 8491 (1984), a média dos valores de absorção não deve ser superior a 20% e não deve apresentar valores individuais superiores a 22%. Logo, o resultado obtido foi condizente com a norma.

Os resultados apresentados demonstram que os tijolos com RSU incorporados em sua mistura obtiveram melhor desempenho no ensaio de absorção, comparados aos tijolos referência, com valores acima do indicado pela norma (Tabela 11).

Tabela 11 - Ensaio de absorção de água nos tijolos MM03.

CORPO DE PROVA	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
Tijolo Solo-cimento	22,25
MM03 ^{LOTE6}	19,85
MM03 ^{LOTE7}	19,84
MM03 ^{LOTE8}	19,02

Estes tijolos se apresentaram dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma vigente, tanto no quesito de resistência à compressão, como de absorção de água, comprovando serem viáveis para uso sem fins estruturais.

Ressalte-se que estes tijolos apresentaram resultados que demonstram ser possível produzir tijolos de solo-cimento a partir de materiais convencionais junto com materiais provenientes de descarte e reciclagem, com redução dos custos para aquisição de material, logística de transporte e armazenamento.

4.6. DETERMINAÇÃO DO TRAÇO IDEAL COM ADIÇÃO DE RSU

A partir dos resultados apresentados, definiu-se o traço MM03 como o ideal. Para testes de confiabilidade e validação das amostras, conforme sugere a NBR-10833, deve-se utilizar três tijolos para testes de resistência à compressão.

Deste modo, foram moldados quinze tijolos, que tiveram cura por sete dias (câmara úmida) e testados após sua cura. Deste lote, foram selecionados cinco tijolos para testes de compressão aos sete dias e cinco tijolos para testes de compressão aos vinte e oito dias. Considerou-se a partir dos valores individuais a média aritmética, a mediana, o desvio padrão e a variância destes tijolos, com geração de um gráfico *BoxPlot* e validação do produto e sua replicabilidade.

É importante destacar que as informações da Tabela 12 referem-se a um volume de material na ordem de três litros (conveniência do recipiente disponível) que produziu uma média de quinze tijolos inteiros.

Tabela 12 - Massa unitária dos materiais (Traço MM03).

MATERIAL	RECIPIENTE	VOLUME	MASSA UNITÁRIA	TOTAL
cimento	Ø=15cm /H=17cm	3,00 L	3,68Kg x 1	3,68 Kg
terra	Ø=15cm /H=17cm	3,00 L	3,68Kg x 7	25,76 Kg
Raspas (Pneu)	Ø=15cm /H=17cm	3,00 L	1,18Kg x 0,5	0,59 Kg
Pó (Marmorarias)	Ø=15cm /H=17cm	3,00 L	2,86Kg x 2,5	7,15 Kg
Água	-	3,20 L	3,20 L	3,20 L

Ao utilizar maior quantidade de RSU como agregados na mistura, vislumbra-se um maior rendimento na produção dos tijolos, com menor utilização

de cimento e solo, de modo a se obter melhoria no desempenho mecânico do produto, conforme a recomendação das normas NBR-8492 e NBR-10833, resultando em uma resistência à compressão acima de 2,00 MPa para todos os lotes propostos.

Os resultados dos testes desses oito lotes (Tabela 13) apresentam os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão de modo descritivo em valor médio \pm desvio padrão, variância e medianas.

Tabela 13 - Ensaio de resistência à compressão dos tijolos traço MM03.

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					
	Média \pm Desvio padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	P valor
Lote 1 ^{7dias}	2,87 \pm 0,30	1,54	2,99	2,33	3,04	0,01
Lote 1 ^{28dias}	2,84 \pm 0,15	1,69	2,95	2,69	3,01	0,01
Lote 2 ^{7dias}	2,32 \pm 0,32	0,87	2,26	1,96	2,68	0,08
Lote 2 ^{28dias}	2,06 \pm 0,15	0,80	2,03	1,90	2,28	0,44
Lote 3 ^{7dias}	2,05 \pm 0,25	0,73	2,07	1,78	2,39	0,68
Lote 3 ^{28dias}	2,15 \pm 0,95	0,95	2,20	1,97	2,23	0,04
Lote 4 ^{7dias}	2,61 \pm 0,31	1,12	2,50	2,38	3,16	0,01
Lote 4 ^{28dias}	2,67 \pm 0,30	1,19	2,55	2,39	3,11	0,01
Lote 5 ^{7dias}	2,71 \pm 0,32	1,39	2,92	2,35	2,96	0,01
Lote 5 ^{28dias}	2,64 \pm 0,22	1,32	2,69	2,36	2,89	0,01
Lote 6 ^{7dias}	2,08 \pm 0,18	0,78	2,02	1,91	2,39	0,38
Lote 6 ^{28dias}	2,03 \pm 0,15	0,80	2,06	1,77	2,16	0,70
Lote 7 ^{7dias}	2,95 \pm 0,17	1,74	2,97	2,70	3,12	0,01
Lote 7 ^{28dias}	2,01 \pm 0,20	0,74	2,04	1,79	2,27	0,89
Lote 8 ^{7dias}	2,48 \pm 0,49	0,81	2,32	1,99	3,01	0,09
Lote 8 ^{28dias}	2,12 \pm 0,18	0,84	2,13	1,94	2,34	0,21

Pela análise de variância (ANOVA) se tornou possível comparar dois fatores simultaneamente (fator lote e fator tempo) de todos os tijolos MM03. Estes apresentaram valores mínimos individuais e médios acima do valor de referência, estando todos de acordo com as normas vigentes e confirmando o MM03 como traço ideal. O processo manteve-se padronizado e estável, comprovando que a mistura não necessita de aditivos plastificantes para melhorar sua resistência ou trabalhabilidade, descartando o uso do traço MM03^{Aditivo}.

Os resultados entre cura aos sete dias e aos vinte e oito dias para os lotes testados apresentaram diferenças de valores de resistência à compressão, conforme observado na figura 28.

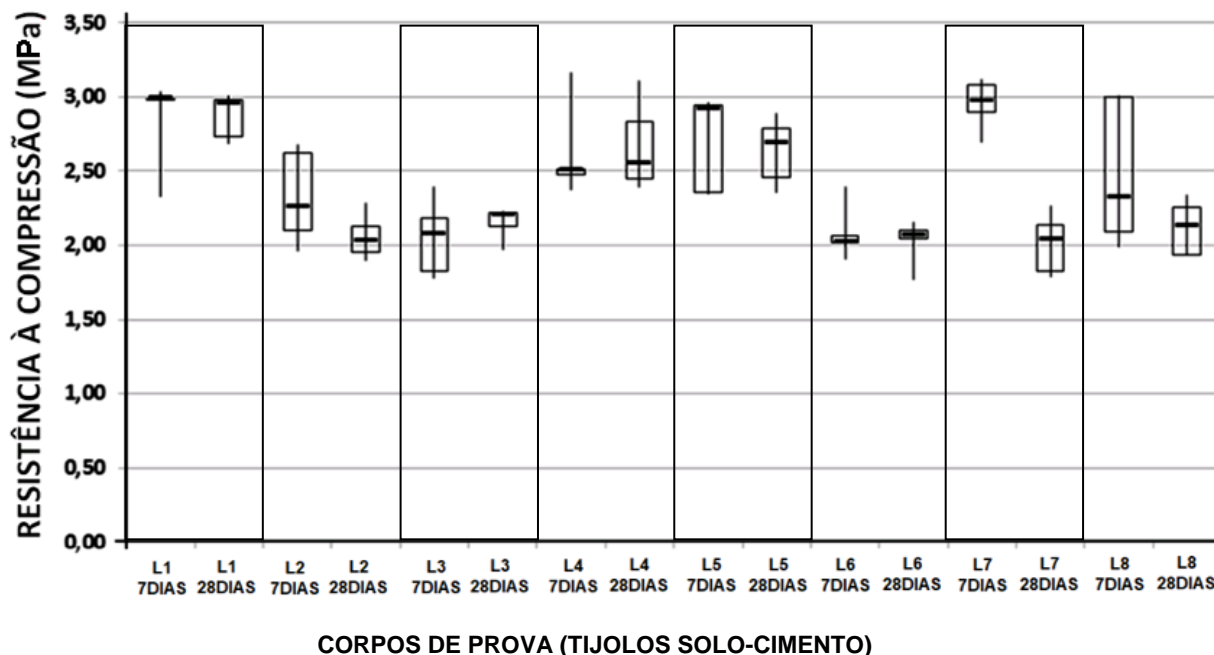


Figura 25 - *BoxPlot* nos traços MM03

Os tijolos analisados apresentaram resultados acima dos valores estabelecidos pela norma vigente brasileira, de modo que a cura dos tijolos em câmara úmida foi satisfatória, tanto aos sete dias, como aos vinte e oito dias.

Os valores obtidos com as médias, medianas, desvio padrão e variância, deram subsídios para definir os resultados apresentado no traço MM03, mantendo uma boa resistência à compressão dos tijolos apresentados. Do mesmo modo, o melhor desempenho foi dos tijolos MM03 foi com cura por câmara úmida sem uso de aditivos plastificantes, inclusive com menor custo na proposta de produção deste tijolo por não usar aditivos.

Conforme os testes realizados, constatou-se a viabilidade em se utilizar RSU como agregados miúdos para confecção de tijolos solo-cimento, com melhoria no desempenho mecânico destes, obtendo bom rendimento no uso de materiais naturais e de descarte e menor quantidade de uso de cimento e solo na mistura, sem a necessidade de outros produtos com propriedades plastificantes ou estabilizantes.

4.7. VIABILIDADE ECONÔMICA

Em relação à viabilidade econômica, ao utilizar os tijolos solo-cimento, estes não necessitam de materiais de acabamentos (rebocos, massa corrida ou pinturas), minimizando também estes custos gerados na alvenaria convencional.

A utilização de um projeto de referência (ver apêndices) com aproximadamente 52,56 m², serviu para determinar parâmetros e mensurar os materiais empregados, além de embasar o uso dos tijolos de solo-cimento, verificando a viabilidade e quantidade de materiais que deixarão de ser descartados.

Para calcular as paredes (vedação), estimou-se uma área de aproximadamente 118 m², o que permite estimar a quantidade de tijolos utilizados (Anexo 2 – Paredes de alvenaria da unidade habitacional de referência). Ao empregar tijolos solo-cimento com dimensões de 12,5 x 7 x 25 cm (largura x altura x comprimento) estima-se a utilização de 45 tijolos por m².

Para tijolos cozidos seis furos utilizaram-se 33 unidades por m², multiplicado por 118 m² de paredes verticais, totalizando 3.894 tijolos. Em relação aos tijolos solo-cimento, utiliza-se 45 unidades por m², multiplicado por 118 m², totalizando 5.310 tijolos de solo-cimento (ver apêndices).

Por fim, para mensurar os gastos com os tijolos solo-cimento, estimou-se para execução dessa unidade habitacional de referência em torno de 5.312 tijolos. Considerando 10% de perdas para execução da alvenaria, resultou em um total de 5.843 tijolos, arredondados para 6.000 tijolos.

Este procedimento permite avaliar informações para quantificar e determinar a quantidade de materiais provenientes de RSU que podem deixar de ser descartados.

Algumas diferenças e vantagens entre o uso do tijolo 6furos¹⁹ para alvenaria convencional e o tijolo solo-cimento são destacadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Comparativo de alvenaria convencional e tijolos solo-cimento.

CARACTERÍSTICA	ALVENARIA CONVENCIONAL DE TIJOLOS 6FUROS ¹⁹	ALVENARIA DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO
Aquisição	Menor custo	Maior custo
Argamassa de assentamento	Menor quantidade - 7,83m ^L	Maior quantidade - 14,16m ^L
Argamassa de chapisco	Maior quantidade	Não se aplica
Argamassa de reboco	Maior quantidade	Não se aplica
Mão de obra	3 homens	2 homens
Tempo de execução da alvenaria – Mão de obra	Maior quantidade 900h (estimado para 50m ²)	Menor quantidade 300h (estimado para 50m ²)
Tempo de assentamento dos tijolos – Mão de obra	Maior quantidade (40h estimado para 100 m2)	Menor quantidade (13h estimado para 100 m2)
Aspectos de sustentabilidade (TBL)	Assentamento por prumos Cortes da alvenaria (ele/hid) Maior desperdício (recorte) Produção externa (cozido) Precisa de acabamento	Fácil execução (encaixes) Dutos condutores (ele/hid) Menor desperdício (sem recorte) Produção <i>in loco</i> (prensa local) Não precisa de acabamento

Considerando o valor unitário de cada material cotado no mercado local, os custos de cimento ficam em torno de R\$ 20,00 por cada saco de 50 quilos, de modo que quilo de cimento fica em torno de R\$ 0,40.

Para calcular a quantidade de solo, um caminhão de terra apresentou o valor médio de R\$ 160,00 para cada caçamba de 5 m³, ou R\$ 32,00 por m³, com custo estimado de R\$ 0,03 para cada quilograma de solo. Já para a borracha, vendida em raspas, o custo médio fica em torno de R\$ 800,00 a tonelada, ou R\$ 0,80 por quilo. O custo do pó de mármore fica em torno de R\$ 0,18 o quilo, vendido em *sites* especializados por R\$ 180,00 a tonelada.

Considerando os valores individuais de cada produto, a Tabela 14 apresenta uma avaliação de custos e materiais para o traço MM03.

Tabela 14 - Avaliação de Custos e Materiais para tijolo solo-cimento MM03.

	Massa Kg	Traço MM03	Custo (R\$) 13 Tij.	Custo (R\$) 1000 Tij.	Massa (Kg) Com RSU	Massa (Kg) Sem RSU
Cimento	3,68	(x1) = 3,68	(x0,40)= 1,48	114,00	283	283
Solo	3,68	(x7) = 25,76	(x0,03)=0,78	60,00	198	2831
Raspas de pneu	1,18	(x,5) = 0,59	(x0,80)=0,47	36,00	45	-
Pó marmorarias	2,86	(x2,5) =7,15	(x0,18)=1,29	99,00	550	-
Total Estimado			R\$ 4,02	309,00	2860	3114

Com base nos cálculos anteriormente citados, para produção de 1.000 tijolos de solo-cimento empregando raspas de pneu, pode-se evitar o descarte de oito pneus nesta mistura, visto que cada pneu de automóvel varia entre 5,5 Kg a 7,0 Kg. Com a estimativa de utilizar 6.000 unidades de tijolos solo-cimento na unidade habitacional de referência, pode-se utilizar 272 Kg de raspas de pneu, o que equivale ao peso de aproximadamente 45 pneus, reinseridos como subproduto no traço.

Para utilizar o pó de marmorarias, o m³ deste material equivale a aproximadamente 953 Kg, sendo que uma empresa de médio porte produz, em média, 1 m³ por dia. Portanto, para produção de 1.000 tijolos de solo-cimento empregando pó de marmorarias, são utilizados 550 Kg, de modo que a produção diária de uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais pode fornecer material para produção de dois mil tijolos.

Para produzir 6.000 unidades de tijolos solo-cimento, estima-se utilizar 3,3 toneladas de pó de marmorarias, o que equivale 0,17% dos resíduos finos produzidos pelas marmorarias do Brasil (QUEIROZ e CASTRO, 2018).

Constatou-se que o emprego de materiais naturais e de descarte é viável para utilização de novas proporções dos agregados, visando maior rendimento na produção dos tijolos solo-cimento e menor quantidade de cimento na mistura, obtendo-se melhoria no desempenho mecânico destes elementos.

Ao contemplar o uso de materiais descartados que podem ser reciclados, a proposta fornece a possibilidade de gerar renda com a coleta destes resíduos, além de minimizar o impacto ambiental, evitando o descarte inadequado destes materiais, incentivando um ciclo de produção e envolvendo a comunidade desde os sistemas de coleta até a produção dos tijolos solo-cimento.

Avaliando o tripé da sustentabilidade orientado pelo *TBL*, a proposta atingiu benefícios nos quesitos sociais, econômico e ambientais, alicerçados não apenas na lucratividade na produção dos tijolos, mas na responsabilidade social dos envolvidos no processo e na questão ambiental com a reciclagem dos RSU.

Em relação ao princípio econômico, utiliza equipamentos de baixo custo e de fácil operação, possibilitando produzir tijolos em grande quantidade com baixo custo utilizando como insumos materiais descartados bem como materiais locais (solo), minimizando o uso de matéria prima não renovável (solo), além de menor consumo de cimento. Por não necessitar de acabamento, descarta o uso de argamassa de reboco e pinturas, e seu formato permite a passagem de tubulação das instalações elétricas e hidráulicas, minimizando gastos com recortes e retrabalhos, contribuindo assim para redução ainda maior dos gastos.

Quanto aos requisitos sociais, incentiva à autoconstrução de moradias de interesse social, atingindo os padrões mínimos requeridos de habitabilidade, por meio de um sistema com facilidade no processo produtivo, não se exigindo nenhuma formação técnica específica, a não ser os conhecimentos básicos e as práticas empregadas ao uso de materiais de construção, gerando oportunidades de renda com a coleta de resíduos, o que sugere os princípios sustentáveis no *TBL*.

Quanto aos princípios ambientais, reduz o passivo ambiental ao utilizar materiais de descarte (raspas de pneu e pó de marmorarias), de modo que para uma produção estimada de 1.000 tijolos por dia, seja reutilizado 45 kg de raspas de pneu e 550 Kg de pó de marmorarias com o traço MM03. Possibilita com o traço proposto, menor consumo de cimento e menor consumo de solo natural, além de não utilizar queima na produção dos tijolos e a possibilidade de produção no próprio local da obra.

5. CONCLUSÃO

Observando-se princípios de sustentabilidade, utilizar tijolo solo-cimento prensado a frio oferece benefícios tanto econômicos como ambientais, pois dispensa o processo de queima bem como o esgotamento de recursos naturais, evitando a degradação do meio ambiente. A investigação no desenvolvimento deste trabalho, permitiu que novas investigações fossem feitas utilizando RSU provenientes de descartes para a produção de tijolos de solo-cimento, atendendo ao objetivo geral traçado nesta tese, com a proposta de um novo material de construção em uma forma sustentável.

A partir do traço de referência com teores de 1:10 (solo: cimento), foram produzidos tijolos de solo-cimento utilizando raspas de pneu e resíduos de marmorarias, sendo proposto o traço ideal nos teores de 1: 7: 0,5: 2,5 (cimento: solo: raspas de pneu: pó de marmorarias), que alcançou os melhores parâmetros de resistência à compressão e absorção de água.

Ao utilizar raspas de pneu e pó de marmorarias, os tijolos obtiveram, nos testes de resistência à compressão, resultados compatíveis com as normas vigentes para tijolos não estruturais, atingindo média de 2,87 MPa, acima dos valores mínimos estabelecidos, bem como obtiveram boa aparência superficial. Além do bom desempenho mecânico, obtiveram bom rendimento e menor uso de solo e cimento.

Conferiu-se também neste traço, que, ao se realizar um amassamento adequado, houve melhora de sua trabalhabilidade, sem a necessidade do uso de aditivos plastificantes, pois o traço ideal com aditivo plastificante não atingiu benefícios estatisticamente significativos.

No dimensionamento para produção de 1.000 tijolos com o traço ideal, estima-se que pode evitar o descarte médio de oito pneus e cerca de 550 kg de resíduos de marmorarias, evitando assim o descarte inadequado, propondo uma destinação segura a partir da reciclagem, justificando-se a relevância deste estudo ao reduzir o passivo ambiental gerado por estes resíduos.

A vertente da sustentabilidade, no quesito impacto econômico, foi contemplada ao propor a produção de tijolos solo-cimento com traço ideal, utilizando-se materiais e equipamentos de baixo custo e de fácil operação, assim como materiais provenientes de descarte com redução do uso de cimento e solo.

A vertente da sustentabilidade no quesito social não tende apenas aos requisitos econômicos almejando lucros, mas sugere a importância da responsabilidade social com intenção de alcançar crescimento de modo socialmente justo e economicamente rentável, quanto à integração de diferentes setores e pares, não aplicando apenas um sistema operacional, mas o conceito de integração de projetos, processos e produtos, podendo minimizar custos.

A contribuição acadêmica desta tese foi chegar, experimentalmente, a um traço ideal que combinou simultaneamente materiais tradicionais para este tipo de tijolo (solo e cimento) com materiais de descarte (raspas de pneu e pó de marmoraria), o que não tinha sido feito até então, conforme constatado no desenvolvimento deste trabalho.

Este traço proposto se apresentou viável e demonstrou ser possível reduzir volume de cimento na produção destes tijolos com a inserção de uma porcentagem significativa de materiais oriundos de fontes não renováveis, o que representa um avanço na tecnologia de produção de artefatos de solo-cimento.

Apesar de esta tese ter foco na incorporação de RSU na produção de tijolos solo-cimento, o produto apresenta condições para ser replicado, pois apresentou resultados compatíveis com as normas vigentes, possibilitando a produção seriada mantendo a qualidade técnica do produto, atendendo os quesitos sociais, econômicos e ambientais, premissas buscadas no viés da sustentabilidade.

O traço ideal do tijolo solo-cimento usando simultaneamente raspas de pneu com pó de marmorarias, foram adequados nas proporções de 9,09% cimento: 63,63% solo: 4,5% raspas de pneu: 22,78% pó de marmorarias, com teores de 1: 7: 0,5: 2,5 (cura por câmara úmida).

O diferencial e originalidade deste trabalho foram constatados ao considerar o uso simultâneo de dois tipos de insumos para tijolos de solo-cimento, que até então eram empregados separadamente, sem relatos de pesquisas semelhantes, o que é um forte indício de inovação, originalidade e avanço no conhecimento.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Foram identificadas algumas lacunas no decorrer deste trabalho, que podem se tornar objeto de pesquisas futuras, listadas a seguir:

- i)* Pesquisar novos traços com diferentes materiais agregados, confrontando suas características de modo comparativo;
- ii)* Pesquisar novos traços com diferentes tipos de solo, de modo a ampliar a pesquisa, comparando-se os requisitos de resistência e aparência superficial;
- iii)* Verificar a proporção do traço em outras aplicações que necessitam de inovações, como exemplo: a) argamassa de reboco; b) de pavimentação, c) de placas cimentícias para revestimentos;
- iv)* Investigar requisitos como conforto térmico e acústico, com intuito de aprofundar as análises da aplicação desse tipo de tijolo;
- v)* Investigar o resgate de CO₂ com a produção sem queima dos tijolos solo-cimento em comparação com tijolos cerâmicos cozidos;
- vi)* Avaliar a resistência às intempéries do tijolo proposto, devido ao desgaste natural e resistência a agentes externos (como poluição atmosférica);
- vii)* Mensurar a viabilidade com relação ao sistema construtivo convencional, e a viabilidade econômica deste produto aqui apresentado.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. **Boletim técnico**. 106. 7.ed. São Paulo, 2002. 28 p. São Paulo, 2002.

ABIROCHAS - **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. (2013). Disponível em: http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php; Acessado em 18 de dezembro de 2013.

ABIROCHAS - Balanço das exportações Brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento – novo recorde histórico de crescimento. **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. (2004) Disponível em: http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php; Acessado em 18 de dezembro de 2013.

ABIROCHAS - Situação Atual e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais” - **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. (2008), Informe n° 02”. Disponível em: http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php; Acessado em 18 de dezembro de 2013.

ABIROCHAS - Balanço das exportações Brasileiras de rochas ornamentais – **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. (2011)”. Disponível em: http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php; Acessado em 18 de dezembro de 2013.

ABREU JUNIOR, C. H.; BASSO, A. C.; CHITOLINA, J. C.; SILVA, F. C. ; Boralli, K.; WENDEL, C.F.C. - Caracterização de compostos de resíduos sólidos urbanos orgânicos de unidades de reciclagem e compostagem dos municípios de São Paulo e de São José dos Campos - **HOLOS Environment**. v.12 n.2, 2012 - P. 225

ACCHAR, W.; MARQUES, S. K. J. Soil-Cement Bricks. In: **Ecological Soil-Cement Bricks from Waste Materials**. Springer, Cham, 2016. p. 5-13.

AGENDA 21 – Acessado em 15/09/2016 - Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>

ANAGNOSTOPOULOS, C. A. Strength properties of an epoxy resin and cement-stabilized silty clay soil. **Applied Clay Science**, v. 114, p. 517-529, 2015.

AHARANWA, B. C. Incorporation and effects of scrap tyre on cement-concrete. **International journal of academic research**. Vol. 4. N. 2. March, 2012.

AHMED, A. Environmental properties of waste and by-product materials used in constructions. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, v. 40, n. 2, p. 160-169, 2014.

AHMED, K.; NIZAMI, S. S.; RIZA, N. Z. Reinforcement of natural rubber hybrid composites based on marble sludge/Silica and marble sludge/rice husk derived silica. **Journal of Advanced Research**, v. 5, n. 2, p. 165-173, 2014.

AHMED, K. *et al.* The effect of silica on the properties of marble sludge filled hybrid natural rubber composites. **Journal of King Saud University-Science**, v. 25, n. 4, p. 331-339, 2013.

AHMED, K.; NIZAMI, S. S.; RAZA, N. Z. Characteristics of natural rubber hybrid composites based on marble sludge/carbon black and marble sludge/rice husk derived silica. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 19, n. 4, p. 1169-1176, 2013.

AKINMUSURU, J. O. Lateritic soil—cement bricks for rural housing. **International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 6, n. 3, p. 185-188, 1984.

AL-FAKIH, A. *et al.* Physical properties of the rubberized interlocking masonry brick. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 6, p. 656-664, 2018.

AL-FAKIH, A. *et al.* Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: an update review. **Journal of Building Engineering**. p. 37-54, 2018.

ALBUQUERQUE, A. C. 2009. Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneus. Tese de doutorado – Porto Alegre, RS. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 257 p.

ALBUQUERQUE, L. Q. C. *et al.* (2008) Resistência de Tijolos de Solo Cimento fabricados com o montículo do Cupim. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 2, p. 553-560, mar./abr.

ALCANTARA, M. A. M. *et al.* O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar na produção de tijolos de solo-cal. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.l.], v. 3, n. 1, jan. 2012. ISSN 2179-0612. Disponível em: <<http://revistas.ufg.br/reec/article/view/15723>>. Acesso em: 29 ago. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.5216/reec.v3i1.15723>.

ALEXANDRE, J. *et al.* Analysis of the Feasibility of Using Soil from the Municipality of Goytacazes/RJ for Production of Soil-Cement Brick. In: **Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2015**. Springer, Cham, 2015. p. 595-600.

ALMEIDA, T. F. Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmico. Campos dos Goytacazes, RJ. **Universidade Estadual do Norte Fluminense**. 2014.

ALVES, J. D. Materiais Alternativos de Construção. **Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás**. 2006

ALVES, M. S. Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos. 2008. 133p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2008.

AMARAL, M. C. *et al.* Soil–cement bricks incorporated with eggshell waste. In: **Proceedings of the institution of civil engineers-waste and resource management**. ICE Publishing, 2013. p. 137-141.

ANDRADE, Hered de Souza et al. Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização. 2014.

ANIP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. Pesquisa geral no site. Disponível em: www.anip.com.br. Acesso em: 28/06/16.

ANITECO. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO. Disponível em: <www.aniteco.com>.

ARAÚJO, F. P. *et al.* A Study of the Chemical and Physical Characteristics of the Soils from the South of Piauí for Soil-Cement Brick Production. In: **Materials Science Forum**. Trans Tech Publications, 2016. p. 112-115.

ASSIS, J. B. S.; CHAHUD, E.; ASSIS, P S. Flexão em paredes construídas com blocos de solo-cimento, intertravados, sob carga horizontal uniformemente distribuída. In: **TerraBrasil 2010 III Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil**. p. 115.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento: especificação**. Rio de Janeiro, 1984. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção d'água**. Rio de Janeiro, 1984. 5 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10832: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual**. Rio de Janeiro, 1989. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica**. Rio de Janeiro, 1989. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: Determinação da resistência a compressão e absorção de água.** Rio de Janeiro, 1994b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023: Solo-cimento – Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 1992. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1992. 5 p.

ASTM, Standard C90, Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units, in, American Standard Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA, (1996).

ASTM C150 / C150M-17, "Standard Specification for Portland Cement," vol. 4, ed: ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, pp. 1-7.

ASTM C618-17a, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," ed: ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

BAHMANI, S. H. *et al.* Stabilization of residual soil using SiO₂ nanoparticles and cement. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 350-359, 2014.

BAHMANI, S. H. *et al.* The effect of size and replacement content of nanosilica on strength development of cement treated residual soil. **Construction and Building Materials**, v. 118, p. 294-306, 2016.

BARBOSA, M. B. Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho. 2006.

BARBOSA, M. F. L. *et al.* Rice husk and water treatment plant sludge incorporated into soil–cement brick. **Asian Journal of Civil Engineering**, p. 1-8, 2019.

BENSON, Mike; RANKIN, Jeff. Measuring the Sustainable Benefits of Modular and Offsite Construction Delivery Techniques Against Conventional On-Site Construction. **Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings**, v. 1, n. 1, 2016.

BILGIN, N.; YEPREM, H.A.; ARSLAN, S.; BILGIN A.; GÜNAY, E.; MARSOGLU, M. Use of waste marble powder in brick industry. **Construction and Building Materials**. 29 (2012) 449–457.

BISHT, K.I.; RAMANA, P. V. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. **Construction and Building Materials**, v. 155, p. 811-817, 2017.

BRANDÃO, A. C. L. *et al.* Análise de características do concreto com adição de raspas de pneu e pó de mármore. 2014.

BRASIL (2010) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.

CAMARGO, R. C. Produção e caracterização de compósitos de concreto com adição de pneus automotivo. **Revista Eletrônica TECEN**, v. 10, n. 2, p. 18-22, 2017.

CAMPOS, A. Desenvolvimento de um Projeto de Habitação de Interesse Social segundo a Coordenação Modular e os Princípios do Eco-design. Engenharia das Edificações e Saneamento. **Centro de Tecnologias e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina – UEL**. Londrina - PR. 2009.

CAMPOS, A.; BRITO, L.T.; NASCIMENTO JR., J. B. Tijolos de solo-cimento produzidos a partir do emprego de reuso de águas com diferentes métodos de cura aplicados na construção sustentável. In: **3º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS 2018**, 2018, Coimbra - Portugal. 2018

CAMPOS, A.; CAMPOS. F. C. Produção de tijolos ecológicos alinhada ao desenvolvimento sustentável: adição de resíduos sólidos urbanos. **XXII simpósio de engenharia de produção**. Política Nacional de Inovação e Engenharia de Produção. Bauru, SP, Brasil, 2015.

CAMPOS, A.; CAMPOS. F. C. Proposta de Tijolos Solocimento Utilizando Materiais de Descarte Embasados no Triple Botton Line. “Cleaner production for achieving sustainable development goals” **7th International Workshop - Advances in Cleaner Production**. Barranquilla – Colombia, 2018.

CAMPOS, A; VALÉRIO, D.V.; VALIENTE, F. B.; MARQUES, A. C. Produção de tijolos de solocimento a partir de usina de reciclagem tulizando resíduos da construção civil. **1º Congresso Sul-americano de Resíduos sólidos e Sustentabilidade**. IBEAS. Gramado, Br. 2018.

CAMPOS, A.; NASCIMENTO JUNIOR, J. B.; BRITO, L. T.. Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura. **Interações (Campo Grande)**, [S.l.], p. 296, mar. 2019. ISSN 1984-042X. Disponível em: <<http://www.interacoes.ucdb.br/article/view/283>>. Acesso em: 24 mar. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.20435/inter.v0i0.1565>.

CAMPOS, A.; SILVA, I. B. - Avaliação de um sistema de gestão da qualidade em um escritório de projetos de arquitetura – Estudo de caso - Evaluation of a quality management system in an office of architectural projects - Case Study – **Revista Espacios**. Vol. 33 (12) 2012. 5.

CAMPOS, A. R. et al. Resíduos: tratamento e aplicações industriais. In: Vidal, W. F. H., AZEVEDO, H. C. A. e CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), 2014. p. 431-492

CANDIOTTO, C.; BASTOS, C. L.; CANDIOTTO, K. B. B. – Fundamentos da pesquisa científica: teoria e prática. Petrópolis, RJ. **Editora Vozes**. 2011.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; NETO, G. A.. A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 29, n. 2, p. 141-149, 2007.

CANOVA, J. A. BERGAMASCO, R. Neto, G.A. Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 41-53, 2015.

CARRASCO, E. V. M.; SILVA, S. R.; MANTILLA, J. N. R. Assessment of Mechanical Properties and the Influence of the Addition of Sawdust in Soil–Cement Bricks Using the Technique of Ultrasonic Anisotropic Inspection. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 26, n. 2, p. 219-225, 2012.

CARTILHA DE SOLO-CIMENTO – MAQUINAS MAN

CASTRO, E. D. *et al.* **Analysis of the coffee peel application over the soil-cement bricks properties**. Coffee Science, v. 14, n. 1, p. 12-23, 2019.

CASTRO, M.A.C.; COSTA, F.G.; BORBA, S.C.; FAGURY NETO, E.; RABELO, A.A. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos Evaluation of physical and mechanical properties of soil-cement bricks formulated with steel co-products. **Revista Matéria**, v.21, n.3, pp. 666 – 676, 2016.

CASTRO, S. F. Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis. **Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB**, 2008.

CARVALHO, A. *et al.* Environmental durability of soil-cement block incorporated with ornamental stone waste. In: **Materials Science Forum**. Trans Tech Publications, 2014. p. 548-553.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS. Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas. Versão 1. Novembro. 2014. Disponível em: <[https:// www.http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4](https://www.http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4)>. Acesso em: 25 de jun. de 2019.

CEMPRE – Compromisso empresarial para reciclagem – Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/7/pneus>

CHAN, C. M. Mechanical properties of clayey sand treated with cement-rubbershreds. **Civil Engineering Dimension**, v. 14, n. 1, p. 7-12, 2012.

CHEAH, C. B.; PART, W. K.; RAMLI, M. The long term engineering properties of cementless building block work containing large volume of wood ash and coal fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 143, p. 522-536, 2017.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos: Projeto Bula. **ABIRROCAS-Associação Brasileira de Rochas Ornamentais, São Paulo**, 2009.

CHO, Y.; YEO, S.. Application of recycled waste aggregate to lean concrete subbase in highway pavement. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 31, n. 6, p. 1101-1108, 2004.

CHOOBBASTI, A. J.; KUTANAEI, S. S. Microstructure characteristics of cement-stabilized sandy soil using nanosilica. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, v. 9, n. 5, p. 981-988, 2017.

CHOOBBASTI, A. J.; VAF AEI, A.; KUTANAEI, S. S. Mechanical properties of sandy soil improved with cement and nanosilica. **Open Engineering**, 5 (1) (2015), pp. 111-116.

CHRISTOFOROU, E. *et al.* Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks. **Journal of Cleaner Production, Elsevier**, v. 112, p. 443-452, 2016.

CONTRERAS, M. *et al.* Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 594-600, 2016.

CRUZ, Carla; RIBEIRO, Uirá. **Metodologia científica: teoria e prática**. Axcel Books do Brasil, 2003.

CUSTODIO, M. Q. M. - Dosagem de concreto - definições fundamentais. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17310/material/02.%20Slides%20completos.pdf>. Acessado em: 18/11/2018

ÇIÇEK, T.; CINCIN, Y. Use of fly ash in production of light-weight building bricks. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 521-527, 2015.

DAKWALE, V. A.; RALEGAONKAR, R. V. Development of sustainable construction material using construction and demolition waste. **Indian J. Eng. Mater. Sci.** 2014, 21, 451–457. 2014.

DALLACORT, R. *et al.* Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento do cimento Portland por r ortland por r ortland por resíduo cerâmico moído esíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 511-518, 2002.

DAVIES, O. O. A.; DAVIES, I. E. E. Barriers to Implementation of Sustainable Construction Techniques. **MAYFEB Journal of Environmental Science**, v. 2, 1–9. 2017.

DIAS, D. R. *et al.* Resistência à compressão não confinada de misturas de solo-cimento visando à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix. 2011.

EL-ATTAR, M. M.; SADEK, D. M.; SALAH, A. M. Recycling of high volumes of cement kiln dust in bricks industry. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 506-515, 2017.

ELICHE-QUESADA, D. *et al.* Silica–Calcareous Non Fired Bricks Made of Biomass Ash and Dust Filter from Gases Purification. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-15, 2019.

ELKINGTON, J. Cannibals with forks: the triple bottom line of twenty-first century business. Capstone. 1997.

ELKINGTON, J. Enter the triple bottom line. In: **The triple bottom line**. Routledge, 2013. p. 23-38.

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environmental Quality Management**, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1998.

EMF. Towards the circular economy. Vol. 1: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. **Ellen Macarthur Foundation**, 2012.

EMF. Towards the circular economy. Vol.2: Opportunities for the consumer goods sector. **Ellen Macarthur Foundation**, 2013.

ESPUELAS, S. *et al.* Magnesium oxide as alternative binder for unfired clay bricks manufacturing. **Applied Clay Science**, v. 146, p. 23-26, 2017.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo da adição de resíduos de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento. In: **The proceedings of the Conferência Latino Americana de Construção Sustentável (claCS'04)/X Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído (ENTAC 2004)**, São Paulo, edited by CIB. 2004.

FERREIRA, R. C.; CUNHA, A. H. N. Quality evaluation of soil-cement-plant residue bricks by the combination of destructive and non-destructive tests. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 543-549, 2017.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008.

FERREIRA, R. C.; OLIVEIRA, M. F. Incorporação de resíduos vegetais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de misturas de solo-cimento para fins de construção rural. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, 204-213, 2007

FIGUEROLA, V. – Projeto Sustentável – Arquitetura com foco na sustentabilidade requer integração de equipes e coordenação de um profissional especializado – **Artigo – Revista Techne** – Nº133 – Editora Pini Ltda. Abril de 2008.

FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. Fabricação de blocos estruturais de concreto com resíduos de borracha de pneus. **Holos Environment**, v. 4, n. 2, p. 145-156, 2004.

FIORITI, C. F.; INO, A.i; AKASAKI, J. L. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 4, p. 43-54, 2007.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. **Acta Scientiarum: Technology**, p. 237-244, 2010.

FLEURY, A.; FLEURY, M. T. L. Estratégias empresariais e formação de competências: um quebra-cabeça caleidoscópico da indústria brasileira. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

FRAGA, Y. S. B. *et al.* Tecnologia dos materiais: a utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, v. 3, n. 3, p. 11, 2016.

FRANÇA, B. R. *et al.* Durability of soil-cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. **Materials Research**, v. 21, 2018. e20171118.

FRAILE-GARCIA, E. *et al.* Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber. **Construction and Building Materials**, v. 176, p. 193-200, 2018.

FREITAS, L.; MAGRINI, A. Waste Management in Industrial Construction: Investigating Contributions from Industrial Ecology. **Sustainability**, v. 9, n. 7, p. 1251, 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE :**Plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos – PGIRPN** - Belo Horizonte : Fundação Israel Pinheiro, 2009.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa. Plageder, Editora da UFRGS. 2009.

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, p. 44-45, 2002.

GIL, A. C. **Estudo de caso**. São Paulo. Atlas, 2009.

GIL, A. C. O projeto na pesquisa fenomenológica. **Anais do IV Seminário Internacional de Pesquisa e Estudos Qualitativos**, 2010.

GIL, A. C.; VERGARA, S. C. Tipo de Pesquisa. **PUC Rio**, p. 78-83, 2015.

GHALY, A. M.; CAHILL IV, J. D. Correlation of strength, rubber content, and water to cement ratio in rubberized concrete. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 32, n. 6, p. 1075-1081, 2005.

GHASABKOLAEI, N. *et al.* Physical and geotechnical properties of cement-treated clayey soil using silica nanoparticles: An experimental study. **The European Physical Journal Plus**, v. 131, n. 5, p. 134, 2016.

GHAZI, H.; BAZIAR, M. H.; MIRKAZEMI, S. M. Assess of the improvement of the behavior of soil strength in the presence of nanoscale additive. **Assas J. Sci. Technol**, p. 45-50, 2011.

GIMENEZ, C.; SIERRA, V.; RODON, J. Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 1, p. 149-159, 2012.

GOMES, J. W. Tijolos de solo-cimento—solução para o problema habitacional de países em desenvolvimento. **Adendo complementar ao trabalho**, 1980.

GOMES, P. C. C. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. Doctoral Thesis, **University Politécnica da Catalunya**, Barcelona, Spain, 2002.

GONÇALVES, J. P. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos. 2000.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology and Sustainable Engineering: International Edition**. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, Prentice Hall, 2010.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Tese. Universidade de São Paulo.

GRANZOTTO, L.; SOUZA, R. A. Mechanical properties of structural concrete with partial replacement of fine aggregate by tire rubber/Propriedades mecânicas do concreto estrutural com substituição parcial da areia por borracha de pneu. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 1, p. 39-45, 2013.

GUEVARA, N.; FUKUYAMA, H. SEISMIC LIMIT STATES AND RESISTANT MECHANISM OF THE SOIL-CEMENT BRICKS CONFINED MASONRY. **Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering**, v. 43, p. 67-72, 2009.

MARTINEZ M.P.G., GOTO T. Structural investigation on confined masonry of soil-cement bricks to incorporate into El Salvador housing code Bulletin of the **International Institute of Seismology and Earthquake Engineering**, v. 44, pp.85-90. 2010.

HALL, T. J. The triple bottom line: what is it and how does it work?. **Indiana business review**, v. 86, n. 1, p. 4, 2011.

HALPERN, B. S. *et al.* Achieving the triple bottom line in the face of inherent trade-offs among social equity, economic return, and conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 15, p. 6229-6234, 2013.

HEISE, A. F. *et al.* Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo-cimento em taipa de pilão. 2004.

HOLMES, N. *et al.* Performance of masonry blocks containing different proportions of incinerator bottom ash. **Sustainable materials and technologies**, v. 8, p. 14-19, 2016.

HUANG, B. *et al.* Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 36-44, 2018.

HWANG, C. L.; HUYNH, T. P. Investigation on the use of fly ash and residual rice husk ash for producing unfired building bricks. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, 2015. p. 588-592.

IDEA: Triple bottom line | The Economist Idea - All latest updates - Triple bottom line - It consists of three Ps: profit, people and planet - Nov 17th 2009 | Online extra.

ISMAIL, M. *et al.* Mechanical capabilities and fire endurance of natural rubber latex modified concrete. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 38, n. 6, p. 661-668, 2011.

ISMAIL, S.; ANAS, Z. A. H.; ZAITON, Y. Mechanical and thermal properties of brick produced using recycled fine aggregate. In: **Key Engineering Materials**. Trans Tech Publications, 2016. p. 112-116.

JACKSON, T. The chrysalis economy: how citizen CEOs and corporations can fuse values and value creation by John Elkington, 2001. Capstone, xx+ 284 pp (hbk). ISBN 1-84112-142-8. **Business Strategy and the Environment**, v. 12, n. 5, p. 342-342, 2003.

JAMES, J. *et al.* Cement Stabilized soil blocks admixed with sugarcane bagasse ash. **Journal of Engineering**, v. 2016, 2016.

JIN, L. *et al.* Use of water reducer to enhance the mechanical and durability properties of cement-treated soil. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 690-694, 2018.

JOCHEM, L. F.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. (2014). The Influence of Fine Sand from Construction-Demolition Wastes (CDW) in the Mortar Properties. **Key Engineering Materials**, 600, 357–366.

KAMALI, M.; HEWAGE, K. Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 3592-3606, 2017.

KAMARUDDIN, S. M.; AHMAD, P.; ALWEE, N. Community Awareness on Environmental Management through Local Agenda 21 (LA21). **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 222, p. 729-737, 2016.

KANGRANG, A. *et al.* Reduced soil moisture in producing soil-cement brick for construction materials using constructed sieve, Housing building and drying in open air methods. **International journal of soil science**, v. 5, n. 1, p. 11-18, 2010.

KHARUN, M.; SVINTSOV, A. P. Soil-cement ratio and curing conditions as the factors of soil-concrete strength. In: **Key Engineering Materials**. Trans Tech Publications, 2017. p. 358-363.

KARAGIANNIDIS, A.; KASAMPALIS, T. Resource recovery from end-of-life tyres in Greece: A field survey, state-of-art and trends. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 6, p. 520-532, 2010.

KATS, G.; BRAMAN, J.; JAMES, M. Tornando Nosso Ambiente Construído Mais Sustentável—Custos, Benefícios e Estratégias. **São Paulo: IslandPress**, 2010.

KATUTA, H. E. Avaliação de desempenho de recuperação de pavimento asfáltico executado com concreto incorporando resíduos sólidos urbanos. Curitiba, 2010.

KUMAR, B.M. V.; ANANTHAN, H.; BALAJI, K. V. A. Experimental studies on cement stabilized masonry blocks prepared from brick powder, fine recycled concrete aggregate and pozzolanic materials. **Journal of Building Engineering**, v. 10, p. 80-88, 2017.

KUCUKVAR, M.; TATARI, O. Towards a triple bottom-line sustainability assessment of the US construction industry. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 958-972, 2013.

LAGARINHOS, C. A. F. **Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LAGARINHOS, C. A. F. Reciclagem de pneus: coleta e reciclagem de pneus. Co-processamento na indústria de cimento, Petrobras SIX e pavimentação asfáltica. **IPT, São Paulo**, 2004.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **Polímeros**, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2013.

LLAJARUNA, V.; ANTONIO, M. Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção. 2017.

LEE, S.-J.; KIM, H.; AKISETTY, C. K.; AMIRKHANIAN, S. N. Laboratory characterization of recycled crumbrubber-modified asphalt mixture after extended aging. **Canadian Journal of Civil Engineering**. 35: 1308–1317 (2008)

LEE, S. D.; LEE, V.r S. After Rio: the new environmental challenge. In: **Principles of Sustainable Development**. Routledge, 2017. p. 69-82.

LENGEN, J. V. Manual do arquiteto descalço. Rio de Janeiro: **Livraria do Arquiteto**, 4 ed., 2004.

LEONEL, R. F. *et al.* Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand. **Cerâmica**, v. 63, n. 367, p. 329-335, 2017.

LI, G. *et al.* Properties of cement-based bricks with oyster-shells ash. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 279-287, 2015.

LI, L.; RUAN, S.; ZENG, L. Mechanical properties and constitutive equations of concrete containing a low volume of tire rubber particles. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 291-308, 2014.

LIMA, F. X. R. F. Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações. 2013.

LIMA, R. C. O. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. **Campina Grande, Paraíba Brasil: Universidade**, 2010.

LIMA, R. M. S. R. **Sistema de avaliação da gestão integrada de resíduos da construção civil na esfera municipal**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA, R. M. S. R. **Implantação de um programa de coleta seletiva porta a porta com inclusão de catadores: Estudo de caso em Londrina-PR**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacases-RJ**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Me, Centro de Ciência e Tecnologia/UENF Campos dos Goytacases, RJ, Brasil.

LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Structural behavior of load bearing brick walls of soil-cement with the addition of ground ceramic waste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 552-558, 2003.

LIN, Y.; TENG, H.. Mesoporous carbons from waste tire char and their application in wastewater discoloration. **Microporous and mesoporous materials**, v. 54, n. 1-2, p. 167-174, 2002.

LINS, L. N. Estudo da aplicação da casca de café na indústria da construção. **Universidade Federal Fluminense**. 2006.

LINTZ, R. C. C.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L.; Gachet-Barbosa, L. A. Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. **IBRACON Structures and Materials Journal**. Vol. 5. Nº 2. 2012

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.

MACEDO, D. G. **Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu**. Brasília, 2008.

MACEDO, D. C. B.; TUBINO, R. M. C. Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu. **Anais-Primeiro encontro nacional de pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado, São Carlos-SP**, 2005.

MADRID, M. *et al.* The effects of by-products incorporated in low-strength concrete for concrete masonry units. **Construction and Building Materials**, v. 153, p. 117-128, 2017.

MADURWAR, M.; SAKHARE, V.; RALEGAONKAR, R. Multi objective optimization of mix proportion for a sustainable construction material. **Procedia engineering**, v. 118, p. 276-283, 2015.

MADURWAR, M. V.; MANDAVGANE, S. A.; RALEGAONKAR, R. V. Use of sugarcane bagasse ash as brick material. **Current Science (00113891)**, v. 107, n. 6, 2014.

MAGALHÃES, L. N. Análise comparativa dos blocos de solo-cimento, de concreto e cerâmicos utilizados na construção civil do sudeste brasileiro. In: **Terra em seminário 2010: 6º Seminário Arquitectura de terra em Portugal: 9º Seminário Ibero-americano de arquitectura e construção com Terra**. 2010. p. 176-179.

MAHOUTIAN, M.; SHAO, Y. Production of cement-free construction blocks from industry wastes. **Journal of cleaner production**, v. 137, p. 1339-1346, 2016.

MAMEDE, F. C. Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural. **EESC USP**, 2001.

MAMEDE, F. C.; CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A.. Pré-moldados leves em edifícios de alvenaria estrutural. **Revista Prisma : Caderno Técnico Alvenaria Estrutural**, São Paulo, p. 40-45, 2006.

MANHÃES, J. P. V. T.; DE HOLANDA, J. N. F. Caracterização e classificação de resíduo sólido. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1301-1304, 2008.

Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais no Espírito Santo / rochas ORNAMENTAIS - Publicação do Instituto Euvaldo Lodi – IEL-ES - **1ª Edição Cachoeiro de Itapemirim/ ES 2013** - Disponível em: <http://www.sindirochas.com/arquivos/manual-rochas.pdf>

MARINHO, E. Z.; ROCHA, R. C.; GALDINO, A. G. S. Análise e perspectivas de alternativas para destinação de resíduos de rochas ornamentais através de um estudo bibliométrico. **Análise**, v. 38, n. 29, 2017.

MARQUES, A. C.; CAMPOS, A.; MATIAS, R.; BARRETO, S. R. O. Revestimento cimentício composto por resíduos da construção civil e lama de mármore e granito. **VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS. 2017**

MARQUES, A. C.; NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J. L. Propriedades mecânicas do concreto adicionado com borracha de pneus. **Holos Environment**, v. 6, n. 1, p. 31-41, 2006.

MARTÍN-MORALES, M. *et al.* Effect of recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability of vibro-compacted dry-mixed concrete hollow blocks. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 303-310, 2017.

MARTINS, C. H. B. *et al.* Da Rio-92 à Rio+ 20: avanços e retrocessos da agenda 21 no Brasil. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 42, n. 3, p. 97-108, 2015.

MARTINS, HAROLDO A. F. A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica. **Universidade Anhambí Morumbi. São Paulo, 115p. Disponível em: <http://engenharia.anhambi.br/tcc-04/civil-14.pdf> Acesso**, v. 15, n. 05, p. 2016, 2004.

MARTINS, R. A.. Abordagens quantitativa e qualitativa. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier**, p. 45-61, 2010.

MARTINS, L. R.I.; FERNANDES, F. F.; DA SILVA, A. M. L.. Utilização de resíduos de construção e demolição na estabilização do solo de iranduba para confecção de tijolo de solo-cimento. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia–CONTECC. 2016.**

MARTUSCELLI, C. C. *et al.* Polymer-cementitious composites containing recycled rubber particles. **Construction and Building Materials**, v. 170, p. 446-454, 2018.

MASUKA, S.; GWENZI, W.; RUKUNI, T.. Development, engineering properties and potential applications of unfired earth bricks reinforced by coal fly ash, lime and wood aggregates. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 312-320, 2018.

MATIAS, M. A. P.; BEZERRA, L. É. F.; MENDONÇA, A. M. G. D. Concreto produzido com agregado reciclado: determinação das propriedades físicas. In: **Anais III CONAPESC**. Espírito Santo: Realize, 2018. v. 1.

MATIAS, M. A. P.; BEZERRA, L. E. F. ; MENDONÇA, A. M. G. D. . Estudo das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com agregado reciclado. In: **ANAIS DO III CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS**, 2018.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N.. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. 2012.

MCWILLIAMS, A. *et al.* Strategic decision making for the triple bottom line. **Business Strategy and the Environment**, v. 25, n. 3, p. 193-204, 2016.

MENEGUINI, E. C. A. *et al.* Avaliação de concreto asfáltico com incorporação de pó de borracha reciclada de pneus, tratada superficialmente com hidróxido de sódio comercial. **Repositório Unicamp**. 2011.

MENEZES, R. R. *et al.* Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas (*The use of granite wastes as ceramic raw materials*). **Cerâmica**, v. 48, n. 306, p. 306, 2002.

MENDONÇA, G. C.; FERREIRA, C. C.. Fabricação de corpos cerâmicos com resíduo in natura da indústria cervejeira através da técnica adobe. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 5, 2018.

MIELI, P. H. Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. **COPPE/UFRJ Rio de Janeiro, RJ, Brasil**, 2009.

MIGUEL, P. A. C.. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2012.

MIGUEL, P. A. C; HO, L. L. Levantamento tipo survey. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 73-128, 2010.

MILNE, M. J.; GRAY, R. W (h) ither ecology? The triple bottom line, the global reporting initiative, and corporate sustainability reporting. **Journal of business ethics**, v. 118, n. 1, p. 13-29, 2013.

MIRANDA, L. A. *et al.* Avaliação do potencial do grits como material de construção na produção de tijolos de solo-cimento. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, 2011.

MOHAMMED, B. S. *et al.* Properties and structural behavior of sawdust interlocking bricks. In: **Engineering Challenges for Sustainable Future**. ROUTLEDGE in association with GSE Research, 2016. p. 437-442.

MOHAMMED, B. S. et al. Properties of crumb rubber hollow concrete block. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. John Wiley & Sons, 2010.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. John Wiley & Sons, 2017.

MOORE, J. F. **The death of competition: leadership and strategy in the age of business ecosystems**. New York: HarperBusiness, 1996.

MORAES, R. P. et al. Compostagem para Londrina, PR: definição de um sistema de gestão de resíduos sólidos domésticos. In: **Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 53., 2015, João Pessoa. Agropecuária, meio ambiente e desenvolvimento: anais eletrônicos. João Pessoa: Sober, 2015., 2015.

MORAES, R. P. Definição de um sistema de gestão de resíduos sólidos domésticos com compostagem para Londrina, Pr. Santa Bárbara D' oeste, 2012. 203 f. : il.

MORAIS, C. R. S. et al., Thermal and Physical-Mechanical Characterization of Paraíba's State Soils to Applying in Soil-Cement Bricks. **Materials Science Forum** 591 - 593, (2008) 532-536.

MOREIRA, S. P. L. et al. Um estudo exploratório da cadeia produtiva da recapagem de pneus. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 5, n. 4, p. 11, 2010.

MORETT, H. T. - A Importância da Inserção dos Sistemas Construtivos de Solo-Cimento no Processo de Industrialização da Construção. **Universidade Federal do Rio de Janeiro, PROARQ / FAU**. Rio de Janeiro - RJ, 2003.

MOTHÉ FILHO, H. F.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C. G. Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais: the case of waste of the dimension stones. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 139-151, 2005.

MUNTOHAR, A. S. Influence of plastic waste fibers on the strength of lime-rice husk ash stabilized clay soil. **Civil Engineering Dimension**, v. 11, n. 1, p. pp. 32-40, 2009.

MUNTOHAR, A. S.; RAHMAN, M. E. Lightweight masonry block from oil palm kernel shell. **Construction and Building Materials**, v. 54, p. 477-484, 2014.

MUKHERJEE, A. et al. Bacterial calcification for enhancing performance of low embodied energy soil-cement bricks. In: **Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technology**. 2013.

MURMU, A. L.; PATEL, A. Towards sustainable bricks production: An overview. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 112-125, 2018.

NACIF, G. L. *et al.* Investigations on cementitious composites based on rubber particle waste additions. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 259-268, 2013.

NAGANATHAN, S.; MOHAMED, A. Y. O.; MUSTAPHA, K. N.. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. **Construction and Building Materials**, v. 96, p. 576-580, 2015.

NAGARAJ, H. B.; SHREYASVI, C. Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste-An explorative study. **Procedia engineering**, v. 180, p. 1203-1212, 2017.

NAIME, R.; SILVA, R. Utilização de pneus usados na fabricação de telhas. **INGEPRO-Inovação, Gestão e Produção**, v. 2, n. 1, p. 015-028, 2010.

NAKANO, D. Métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**, v. 2, p. 65-74, 2010.

NAMBOONRUANG, W. *et al.* Properties of Crumb Rubber Mixed in Local Thailand Soil Cement Brick Composites. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications, 2013. p. 1271-1276.

NAMBOONRUANG, W. *et al.* Prediction of the Heat-Insulating Crumb Rubber Brick Walls Design by the Finite Element Method. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications, 2013. p. 1575-1582.

NASCIMENTO, Cláudio. A autogestão e o novo cooperativismo. **Secretaria Nacional de Economia Solidária, Ministério do Trabalho e Emprego**, 2004. (Textos para Discussão).

NASCIMENTO, J. B. *et al.* Avaliação de painéis de tijolos prensados de solo-cimento incorporados com resíduos de calçados (EVA). **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, n. 2, 2008.

VIEIRA NETO, J. G. Análise da utilização de diferentes misturas de solo-cimento com vistas à produção de tijolos maciços. **Acta Iguazu**, v. 1, n. 3, p. 71-87. 2012.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V.. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em 05/12/2016.

NÓBILE, A. A.- Diretrizes para a sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais/ Alexandre Amato Nóbile – **Campinas [s.n.]**, 2003

NOGUEIRA, C. F. B.; SAFFARO, F. Ar.; GUADANHIM, S. J.. Design guidelines for reducing waste in the production of low-income housing with prefabricated wall panels in dry building systems. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 67-89, 2018.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001.

OLIVEIRA, M. M. Como fazer pesquisa qualitativa. In: **Como fazer pesquisa qualitativa**. 2013.

OLIVEIRA J. R.; AMARAL A. G.; SCHNEIDER R. M. Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento. **Revista Nativa**, Sinop, v. 2, n. 1, p. 53-57, 2014.

ONUAGULUCHI, O.; PANESAR, D. K. Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume. **Journal of Cleaner Production**, v. 82, p. 125-131, 2014.

ÖZKUL, Z. H.; BAYKAL, G. Shear behavior of compacted rubber fiber-clay composite in drained and undrained loading. **Journal of geotechnical and Geoenvironmental engineering**, v. 133, n. 7, p. 767-781, 2007.

PADOVANI, C. R. **Delineamento de experimentos**. 1. ed. São Paulo : Cultura Academica, 2014. V.1. 128p.

PARK, H. *et al.* Production of price-competitive bricks using a high volume of stone powder sludge waste and blast furnace slag through cementless CaO activation. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 343-353, 2016.

PAROPATE, R. V.; SAMBHE, R. The Implementation and Evaluation of Total Productive Maintenance—A Case Study of mid-sized Indian Enterprise. **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)**, v. 2, n. 10, p. 120-125, 2013.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; STOROPOLI, J. H.; DIAS, A. J. G.. Evaluation of compressive strength and water absorption of soil-cement bricks manufactured with addition of pet (polyethylene terephthalate) wastes. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 38, n. 2, 2016.

PEREIRA, A. M.; FAZZAN, J. V.; FREITAS, V. Análise da viabilidade do uso da fibra de borracha de pneu como reforço em tijolo de solo cimento. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 20, 2015.

PEREIRA, D. B.; PEZZUTO, C. C. Estudo do solo-cimento para a fabricação de tijolos ecológicos. **Encontro de iniciação científica**, v. 15, 2010.

PETRY, N. S. *et al.* Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos. **Revista de Arquitetura – IMED**. v. 6, n. 2, p. 71-92, 2017.

PINTO, J. C.; SCHWAAB, M.. **Análise de Dados Experimentais v. II: Planejamento de Experimentos**. Editora E-papers, 2011.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - Lei 12305/10 | Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm

POINOT, T. *et al.* Beneficial use of boiler ash in alkali-activated bricks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 1-10, 2018.

PROMPUTTHANGKOON, P.; KARNCHANACHETANEE, B. Geomaterial prepared from waste tyres, soil and cement. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 91, p. 421-428, 2013.

QUEIRÓZ, F. C.; CASTRO, N. F. Utilização de resíduos de rochas ornamentais como Ecofíler de concreto autodescendível. 2018.

QUESADA, D. E.; IGLESIAS, F.A. C.; VILLAREJO, L. P.; GODINO, F.J. I. Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. **Construction and Building Materials**. Volume 34, September 2012, Pages 275-284

RAHMAN, M. E. *et al.* Performance of masonry blocks incorporating palm oil fuel ash. **Journal of cleaner production**, v. 78, p. 195-201, 2014.

RASHAD, A. M. A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 5, n. 1, p. 46-82, 2016.

RAUT, A. N.; GOMEZ, C. P. Development of thermally efficient fibre-based eco-friendly brick reusing locally available waste materials. **Construction and Building Materials**, v. 133, p. 275-284, 2017.

RAUT, S. P.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. **Construction and building materials**, v. 25, n. 10, p. 4037-4042, 2011.

RECICLANIP - ASSOCIAÇÃO RECICLANIP. Pesquisa geral no site. Disponível em: www.reciclanip.org.br. Acesso em 27/06/16.

REGINO, G. – **Como qualificar a mão de obra na construção civil: metodologia para atualização profissional no canteiro de obra** / Gabriel Regino. São Paulo: PINI, 2010.

REIS, L. R. *et al.* Use of Waste from Construction and Demolition in the Manufacture of Soil-Cement Bricks: A Sustainable Alternative. In: **Materials Science Forum**. Trans Tech Publications, 2018. p. 137-141.

RELATÓRIO DE PESQUISA - **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Acessado em 17 novembro 2015. Disponível em - http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=17247&catid=222&Itemid=7

RELATÓRIO TÉCNICO nº 91 136-205 da ANIP – Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/83C56F5F/Relatorio91_136-205IPT_ANIP.pdf

RENUKAPPA, S. *et al.* A critical reflection on sustainability within the UK industrial sectors. *Construction Innovation*, v. 12, n. 3, p. 317-334, 2012.

RIBEIRO, S. V.; HOLANDA, J. N. F. Soil-cement bricks incorporated with granite cutting sludge. *Int J Eng Sci Innovative Technol*, v. 3, n. 2, p. 401-408, 2014.

RITA DE CÁSSIA, S. S. *et al.* Evaluation of Adding Grits in the Manufacture of Soil-Cement Bricks. In: **REWAS 2016**. Springer, Cham, 2016. p. 319-324.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional - Coletânea HABITARE Volume 4 Porto Alegre - 2003

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. *Cerâmica*, v. 59, n. 352, p. 551-556, 2013.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of water treatment plant waste for production of soil-cement bricks. *Procedia Materials Science*, v. 8, p. 197-202, 2015.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos de prova, tijolos e painéis de solo-cimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.

ROMBALDO, C. F. S. *et al.* Síntese de carvão ativado e óleo combustível a partir de borracha de pneu usado. 2008.

ROMUALDO, A. C. A. *et al.* Pneus inservíveis como agregados na composição de concreto para calçadas de borracha. In: **3rd International Workshop Advances in Cleaner Production-Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World**. 2011.

ROVNANÍK, P.; ŘEZNÍK, B.; ROVNANÍKOVÁ, P. Blended alkali-activated fly ash/brick powder materials. *Procedia Engineering*, v. 151, p. 108-113, 2016.

RUSHING, H.; KARL, A.; WISNOWSKI, J.. **Design and analysis of experiments by Douglas Montgomery: a supplement for using JMP**. Sas Institute, 2014.

RUSSELL-SMITH, Sarah V.; LEPECH, Michael D. Cradle-to-gate sustainable target value design: integrating life cycle assessment and construction management for buildings. *Journal of Cleaner Production*, v. 100, p. 107-115, 2015.

SÁ, M.; GONCALVES, E. B.; BITTARELLO, K., LAPOLLI, É. M. - Responsabilidade socioambiental: um desafio para a micro e pequena empresa. **X SEGET**. Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, 2013.

SAVITZ, A. The triple bottom line: how today's best-run companies are achieving economic, social and environmental success-and how you can too. **John Wiley & Sons**, 2013.

SABOYA JR, F.; XAVIER, G. C.; ALEXANDRE, J. The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 10, p. 1950-1960, 2007.

SAFFARO, F. A. *et al.* Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil. **UFSC**. Florianópolis, 2007.

SAKHARE, V. V.; RALEGAONKAR, R. V. Use of bio-briquette ash for the development of bricks. **Journal of cleaner production**, v. 112, p. 684-689, 2016.

SAKHARE, V. V.; RALEGAONKAR, R. V. Development and investigation of cellular light weight bio-briquette ash bricks. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, n. 1, p. 235-242, 2017.

SALIM, R.; NDAMBUKI, J.; ADEDOKUN, D. (2014). Improving the Bearing Strength of Sandy Loam Soil Compressed Earth Block Bricks Using Sugercane Bagasse Ash. **Sustainability**, 6(6), 3686–3696.doi:10.3390/su6063686.

Samudio, e. M. M.; dourado, f. F. M.; reis, r. A. Gestão de resíduos no beneficiamento de rochas ornamentais: o caso das marmorarias. **Caleidoscópio**, v. 1, n. 9, p. 15-21, 2017.

SANTANA FILHO, C. C. *et al.* Tijolo solo-cimento: apontamentos contemporâneos em termos de Brasil. **Revista Espacios**, Vol. 39 (Nº 51) Ano 2018. Pág. 22018.

SANTOS, H. P.; RITA DE CÁSSIA, S. S.; FASSONI, D. P. Tijolos de solo-cimento com incorporação de resíduo de tinta: uma alternativa que envolve indústria e sociedade em busca de soluções para problemas ambientais e habitacionais. **IV Encontro Nacional e II Latino-Americano Edificações e Comunidades Sustentáveis**. **ANTAC, Campo Grande**, p. 1-15, 2007.

SANTOS, A. C. *et al.* Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas. **Universidade Federal de Alagoas**. 2005.

SANTOS, M. P. D. Fabricação de Solo-Cimento com Adição de Resíduos de Madeira Provenientes da Construção Civil. **Belo Horizonte, MG**, 2009.

SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, n.2, p.179-183, 2011

SETEC – Secretaria de educação profissional e tecnológica. (2007) **Rochas Ornamentais – Ornamental rocks**. Ministério da Educação. Brasília – DF.

SFAKIANAKI, E. Critical success factors for sustainable construction: a literature review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 30, n. 1, p. 176-196, 2019.

SHAHIN, M. A.; HONG, L. S. Utilization of shredded rubber tires for cement-stabilized soft clays. In: **Ground Improvement and Geosynthetics**. 2010. p. 181-186.

SHAKIR, A. A.; NAGANATHAN, S.; MUSTAPHA, K. N. B. Development of bricks from waste material: A review paper. **Australian Journal of basic and applied sciences**, v. 7, n. 8, p. 812-818, 2013.

SHARRARD, A. L.; MATTHEWS, H. S.; RIES, R. J. Estimating construction project environmental effects using an input-output-based hybrid life-cycle assessment model. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 14, n. 4, p. 327-336, 2008.

SHINOHARA, K. J. *et al.* Estudo do comportamento do concreto asfáltico modificado pelo polímero eva no módulo complexo e na fadiga. 2012.

SIGNES, C. H. *et al.* Swelling potential reduction of Spanish argillaceous marlstone Facies Tap soil through the addition of crumb rubber particles from scrap tyres. **Applied Clay Science**, v. 132, p. 768-773, 2016.

SILVA, F. C. *et al.* Gestão pública de resíduos sólidos urbanos: compostagem e interface agroflorestal. **Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, p. 25-52, 2009.

SILVA, F. M.. Análise da aplicação de resíduo de borracha de pneus em piso tátil intertravado de concreto. **Unicamp**. 2014.

SILVA, F. M. G. *et al.* Habitação de Interesse Social Rural: Sistema Construtivo com Paredes Estruturais de Adobe, no Assentamento Rural Fazenda Pirituba (Itapeva - SP, Brasil). In: **V Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação (V ENPPG) e V Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica**, 2004, Ceará. Anais, 2004.

SILVA, F. S.; CASTRO, P. A S. - **Incentivo ao uso de produtos de baixo impacto ambiental**. CEUNSP, Salto – SP. 2011.

Silva, S. R. Tijolo de solo-cimento reforçado com serragem de madeira. **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. 2005.

SILVA, O. H. *et al.* Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 19, p. 39-48, 2015.

SILVA, T. D. *et al.* Use of crumb rubber to partially replace fine aggregate in the production of green bricks. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 4, 2017.

SILVA, V. M. *et al.* Incorporation of ceramic waste into binary and ternary soil-cement formulations for the production of solid bricks. **Materials Research**, v. 17, n. 2, p. 326-331, 2014.

SILVA NETO, J. A.; FIRME, I.N ; SILVA, J.C ; LIMA, M. S. Uso da borracha do pneu inservível e o pó de pedra em substituição dos agregados de uso convencional na confecção de um concreto para fins estruturais. In: III CONAPESC (Congresso Nacional de Pesquisa Científica), Campina Grande-PB. **III CONAPESC**. Campina Grande-PB: Anais III CONAPESC, 2018. v. 1.

SINGH, S. *et al.* Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 119, p. 86-98, 2016.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks. **Cerâmica**, v. 61, n. 360, p. 414-419, 2015.

SIQUEIRA, F. B. *et al.* Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. **Cerâmica**, v. 62, n. 363, p. 237-241, 2016.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. **Journal of environmental management**, v. 131, p. 1-6, 2013.

SLAPER, T. F.; HALL, T. J. The triple bottom line: What is it and how does it work. **Indiana business review**, v. 86, n. 1, p. 4-8, 2011.

SMITH, R. G. Building with soil-cement bricks. 1974.

SOARES, D. A. S. R. Relação entre a cultura organizacional e os indicadores de desempenho econômico, ambiental, e social de sustentabilidade do triple bottom line (3BL): um estudo nas companhias de energia elétrica. 2016.

SODUPE-ORTEGA, E. *et al.* Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 305-316, 2016.

SOLTAN, A. M. M. *et al.* Clay-bricks from recycled rock tailings. **Ceramics International**, v. 42, n. 15, p. 16685-16696, 2016.

SOUNDHARYA, S., HARISH KUMAR, K., MAHATHIR MOHAMED, A., MANIKANDAN, K., Comparative study of clay bricks and stabilised soil-cement bricks with and without foundry sand as replacement. **International Journal of Civil Engineering and Technology**. 9(2), pp. 926-933. 2018

SOUZA, F. A. - Estudo de durabilidade de blocos de solo-cimento com a Incorporação de casca de arroz. Tese de Doutorado. **UFPB**. 2011.

SOUZA, M. I., PEREIRA, J. A.; SEGANTINI, A. A. S. **Tijolos solo-cimento com resíduos de construção**. Revista Técnica. Editora Pini, São Paulo – SP, Nº 113. Agosto de 2006

SOUZA, M. IB; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 205-212, 2008.

SOUZA, R. A.; FERRARI, V. J. Automatic design of the flexural strengthening of reinforced concrete beams using fiber reinforced polymers (FRP). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 2, p. 157-165, 2012.

SOUZA, T. A.C., NUNES, G. A., SOARES, J. M., QUEIROZ, M.T.A. Análise preliminar da resistência à compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de Ipaba - JIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering Periódico da área de Engenharia Industrial e áreas correlatas Florianópolis, SC, v. 3, n. 1, p. 48-61, Julho, 2011.

SUTCU, M. *et al.* Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. *Construction and Building Materials*, v. 82, p. 1-8, 2015.

TAVEIRA, E. S. N. O Solo-cimento no Campo e na Cidade. **São Paulo, Ícone Editora**, 1986.

TAY, J.; HONG, S.; SHOW, K. Reuse of industrial sludge as pelletized aggregate for concrete. **Journal of Environmental Engineering**, v. 126, n. 3, p. 279-287, 2000.

TEERAJETGUL, W.; SINTHAWORN, S. Effects of Using Fine Quarry Waste as Cement Replacement Material on the Compressive Strength of the Mixture of Interlocking Block. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications, 2014. p. 2348-2353.

TEIXEIRA, E. N. Modelo Integrado de gestão de resíduo sólido. **SILVA, FC et al. Gestão pública de resíduos sólidos urbanos: compostagem e interface agroflorestal**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 25-52, 2009..

TORKAMAN, J.; ASHORI, A.; MOMTAZI, A. S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. **Construction and building materials**, v. 50, p. 432-436, 2014.

TRINDADE, C. A.; NASCIMENTO, J. F. H. do; FORMAGINI, S.-Propriedades de Concretos Dosados com Resíduos de Borracha de Pneus Usados. – **Anais do 49º Congresso Brasileiro de Concreto**. Bento Gonçalves - 2007.

VALLE, A. A.. Durability of compressed soil-cement bricks. **Materiales de Construcción**, v. 51, n. 262, p. 23-37, 2001.

VANCLAY, F. The triple bottom line and impact assessment: how do TBL, EIA, SIA, SEA and EMS relate to each other?. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, v. 6, n. 03, p. 265-288, 2004.

VARDHAN, K.; SIDDIQUE, R.; GOYAL, S. Strength, permeation and micro-structural characteristics of concrete incorporating waste marble. **Construction and Building Materials**, v. 203, p. 45-55, 2019.

VITA, M. O.; MACEDO, P. C.; AKASAKI, J. L. ; FAZZAN, J. V.; MARTINS, I. R. F. Influência da adição de resíduo de borracha pneumática em concreto de alto desempenho. In: **49º Congresso Brasileiro do Concreto**, Bento Gonçalves. 2007,

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. Planejamento e análise de experimentos: como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo. **Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG**, 1996.

YADAV, J. S.; TIWARI, S. K. Evaluation of the strength characteristics of cement-stabilized clay–crumb rubber mixtures for its sustainable use in geotechnical applications. **Environment, Development and Sustainability**, v. 20, n. 5, p. 1961-1985, 2018.

YADAV, J. S.; TIWARI, S. K. Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement. **Applied Clay Science**, v. 149, p. 97-110, 2017.

YONEYAMA, S. - Levantamento das Alternativas para Solucionar o Problema de Resíduos de Pneus. Universidade Estadual de Londrina. 2002.

YOSHIDA, F. N. - Análise de um modelo de padronização de processos para a construção civil. Dissertação de Mestrado. **UEL**. Londrina-PR. 2010

ZHANG, Z. *et al.* A review of studies on bricks using alternative materials and approaches. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 1101-1118, 2018.

APÊNDICES

1 – MEDIÇÃO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA

VALORES REFERENTES À TABELA 2 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 07 E 28 DIAS.

TIPO DE CURA	CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPA) ^{07 DIAS}		RESISTÊNCIA (MPA) ^{28 DIAS}	
AO AR LIVRE À SOMBRA	1	4,30	MÉDIA 5,19 +	6,98	MÉDIA 6,87 +++
	2	5,30		6,53	
	3	5,30		7,06	
	4	5,87		6,89	
	D. PADRÃO	0,65	0,23		
	VARIÂNCIA	0,43	0,05		
REGA MANUAL	1	5,89	MÉDIA 5,65 +++	6,89	MÉDIA 6,11 +
	2	5,51		6,38	
	3	5,57		6,55	
	4	5,63		4,63	
	D. PADRÃO	0,17	1,01		
	VARIÂNCIA	0,03	1,02		
CÂMARA UMIDA	1	5,20	MÉDIA 5,27 ++	7,43	MÉDIA 6,31 ++
	2	5,48		7,53	
	3	5,15		5,29	
	4	5,26		5,00	
	D. PADRÃO	0,15	1,35		
	VARIÂNCIA	0,02	1,83		

MAIOR DESEMPENHO+++ DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO++ MENOR DESEMPENHO+

VALORES REFERENTES À TABELA 5 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS.

CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	TIJOLO SOLO-CIMENTO					
	TRAÇO	TRAÇO	TRAÇO	TRAÇO	TRAÇO	TRAÇO
	M01	M02	M03	M04	M05	M06
	1: 5: 1 1,35L água 1 cimento 5(Solo arg.) 1 Borracha	1:5:2 1,45L água 1 cimento 5(Solo arg.) 2 Borracha	1:5:3 1,65L água 1 cimento 5(Solo arg.) 3 Borracha	1:6:2 1,95L água 1 cimento 6(Solo arg.) 2 Borracha	1:7:2 2,6L água 1 cimento 7 (Solo arg.) 2 Borracha	1:8:2 3,2L água 1 cimento 8 (Solo arg.) 2 Borracha
CP 01	2,80	2,98	1,20	1,94	2,81	3,04
CP 02	4,19	1,99	1,10	2,42	2,62	3,71
CP 03	2,57	2,36	1,18	2,06	3,00	2,76
CP 04	3,36	2,69	1,36	1,74	1,82	3,02
CP 05	3,85	2,41	1,58	2,64	2,52	3,26
CP 06	3,75	2,38	1,01	2,11	2,23	3,16
MÉDIAS	3,42	2,47	1,24	2,15	2,50	3,16
MEDIANA	3,56	2,40	1,19	2,09	2,57	3,10
D. PAD.	0,63	0,34	0,20	0,33	0,42	0,32
VARIÂNCIA	0,40	0,11	0,04	0,11	0,18	0,10
MÍNIMO	2,57	1,99	1,01	1,74	1,82	2,76
MÁXIMO	4,19	2,98	1,58	2,64	3,00	3,71

**ANÁLISE ESTATÍSTICA (TABELA 5) - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE
CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS.**

	Group A	Group B	Group C	Group D	Group E	Group F
Col. title	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Mean	3.42	2.4683333333	1.2383333333	2.1516666667	2.5	3.1583333333
Standard deviation (SD)	0.6320	0.3355	0.2038	0.3271	0.4234	0.3183
Sample size (N)	6	6	6	6	6	6
Std. error of mean(SEM)	0.2580	0.1370	0.08320	0.1335	0.1728	0.1299
Lower 95% conf. limit	2.757	2.116	1.024	1.808	2.056	2.824
Upper 95% conf. limit	4.083	2.820	1.452	2.495	2.944	3.492
Minimum	2.570	1.990	1.010	1.740	1.820	2.760
Median (50th percentile)	3.555	2.395	1.190	2.085	2.570	3.100
Maximum	4.190	2.980	1.580	2.640	3.000	3.710
Normality test KS	0.1992	0.2357	0.2413	0.2173	0.1855	0.2080
Normality test P value	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10
Passed normality test?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

One-way Analysis of Variance (ANOVA)

The P value is < 0.0001, considered extremely significant. Variation among column means is significantly greater than expected by chance.

Tukey-Kramer Multiple Comparisons Test

If the value of q is greater than 4.302 then the P value is less than 0.05.

Comparison	Mean Difference	q	P value
M1 vs M2	0.9517	5.886	** P<0.01
M1 vs M3	2.182	13.494	*** P<0.001
M1 vs M4	1.268	7.845	*** P<0.001
M1 vs M5	0.9200	5.690	** P<0.01
M1 vs M6	0.2617	1.618	ns P>0.05
M2 vs M3	1.230	7.608	*** P<0.001
M2 vs M4	0.3167	1.959	ns P>0.05
M2 vs M5	-0.03167	0.1959	ns P>0.05
M2 vs M6	-0.6900	4.268	ns P>0.05
M3 vs M4	-0.9133	5.649	** P<0.01
M3 vs M5	-1.262	7.804	*** P<0.001
M3 vs M6	-1.920	11.875	*** P<0.001
M4 vs M5	-0.3483	2.154	ns P>0.05
M4 vs M6	-1.007	6.226	** P<0.01
M5 vs M6	-0.6583	4.072	ns P>0.05

**VALORES REFERENTES A TABELA 6 - ENSAIO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DOS TIJOLOS.**

CORPOS DE PROVA	TRAÇO M06 (MPa)	TRAÇO M07 (MPa)	TRAÇO M08 (MPa)
	1:8:2/ 3,2L Água	1:7:0,5/ 3,2L Água	1:7,5:0,5/ 3,2 L Água
	1 cimento 8 (Solo argiloso) 2 Borracha	1 cimento 7 Solo argiloso 0,5 Borracha	1 cimento 6 Solo argiloso 1,5 Solo arenoso 0,5 Borracha
CP 01	-	-	2,26
CP 02	-	-	2,64
CP 03	-	-	2,56
CP 04	-	-	2,60
MÉDIAS	-	-	2,52
MEDIANA	-	-	2,58
DESV. PAD.	-	-	0,17
VARIÂNCIA	-	-	0,03

Nota: (-) Não estabilizaram

VALORES REFERENTES À TABELA 8 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS.

CORPOS DE PROVA	TRAÇO MM01	TRAÇO MM02	TRAÇO MM03	TRAÇO MM04
	1: 8: 0,5: 1,5	1: 7: 1: 2	1: 7: 0,5:2,5	1:8:0,25:1,75
	3,2L Água	3,2L Água	3,2L Água	3,2L Água
	1 cimento 8 Solo	1 cimento 7 Solo	1 cimento 7 Solo	1 cimento 7 Solo
	0,5 Raspa 1,5 Pó marm.	1 Raspa 2 Pó marm.	0,5 Raspa 2,5 Pó marm.	0,25 Raspa 1,75 Pó marm.
CP 01	0,75	1,46	3,04	2,61
CP 02	1,08	1,22	2,99	2,92
CP 03	0,78	1,22	2,33	3,14
CP 04	1,09	1,31	2,99	2,46
CP 05	0,86	1,25	2,99	2,51
CP 06	0,90	1,35	3,01	2,64
CP 07	0,81	1,28	2,95	2,89
CP 08	1,01	1,33	2,98	3,01
CP 09	0,69	1,31	2,73	2,57
CP 10	1,13	1,27	2,69	2,54
MÉDIAS	0,91	1,30	2,87	2,73
MEDIANA	0,88	1,30	2,99	2,63
D. PAD.	0,16	0,07	0,22	0,24
VARIÂNCIA	0,02	0,01	0,05	0,06

ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE TABELA 8 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS.

	Group A	Group B	Group C	Group D
Col. title	MM1	MM2	MM3	MM4
Mean	0.91	1.3	2.87	2.729
Standard deviation (SD)	0.1575	0.07134	0.2245	0.2389
Sample size (N)	10	10	10	10
Std. error of mean(SEM)	0.04980	0.02256	0.07101	0.07555
Lower 95% conf. limit	0.7974	1.249	2.709	2.558
Upper 95% conf. limit	1.023	1.351	3.031	2.900
Minimum	0.6900	1.220	2.330	2.460
Median (50th percentile)	0.8800	1.295	2.985	2.625
Maximum	1.130	1.460	3.040	3.140
Normality test KS	0.1598	0.1443	0.3392	0.2452
Normality test P value	>0.10	>0.10	0.0018	0.0899
Passed normality test?	Yes	Yes	No	Yes

Kruskal-Wallis Test (Nonparametric ANOVA)

The P value is < 0.0001, considered extremely significant.
Variation among column medians is significantly greater than expected by chance.

VALORES REFERENTES À TABELA 9 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO MM03.

TIPO DE CURA	AR LIVRE	C. ÚMIDA
	TRAÇO MM03 1: 7: 0,5:2,5 3,2L Água	TRAÇO MM03 1: 7: 0,5:2,5 3,2L Água
TRAÇO MM03	1 cimento 7 Solo 0,5 Raspa 2,5 Pó	1 cimento 7 Solo 0,5 Raspa 2,5 Pó
CP 01	2,39	1,97
CP 02	1,44	2,64
CP 03	1,50	1,40
CP 04	2,22	2,26
CP 05	1,06	2,62
CP 06	2,03	1,80
CP 07	0,94	1,74
CP 08	2,23	1,95
CP 09	1,44	1,10
CP 10	1,17	0,85
MÉDIAS	1,64	1,83
MEDIANA	1,47	1,88
D. PAD.	0,53	0,59
VARIÂNCIA	0,28	0,35

Fonte: O próprio Autor.

ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE À TABELA 9 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO TRAÇO MM03.

	Group A	Group B
Col. title	M3 ar	M3 camara
Mean	1.642	1.833
Standard deviation (SD)	0.5319	0.5950
Sample size (N)	10	10
Std. error of mean(SEM)	0.1682	0.1882
Lower 95% conf. limit	1.262	1.407
Upper 95% conf. limit	2.022	2.259
Minimum	0.9400	0.8500
Median (50th percentile)	1.470	1.875
Maximum	2.390	2.640
Normality test KS	0.2053	0.1379
Normality test P value	>0.10	>0.10
Passed normality test?	Yes	Yes

Paired t test

Does the mean of the differences between M3 ar and M3 camara differ significantly from zero?

P value

The two-tailed P value is 0.4242, considered not significant.

VALORES REFERENTES À TABELA 10 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS MM03 E MM04.

CORPOS DE PROVA	TRAÇO MM03	TRAÇO MM03 ^{Aditivos}	TRAÇO MM04	TRAÇO MM04 ^{Aditivos}
	1:7:0,5:2,5 3,2L Água	1:7:0,5:2,5 3,2L Água + aditivo	1:8:0,25:1,75 3,2L Água	1:8:0,25:1,75 3,2L Água + aditivo
CP 01	3,04	3,04	2,61	2,60
CP 02	2,99	2,99	2,92	2,92
CP 03	2,33	2,33	3,14	3,14
CP 04	2,99	2,99	2,46	2,46
CP 05	2,99	2,87	2,51	2,78
MÉDIAS	2,87	2,84	2,73	2,78
MEDIANA	2,99	2,99	2,61	2,78
DESV. PAD.	0,30	0,29	0,29	0,27
VARIÂNCIA	0,09	0,09	0,08	0,07

Fonte: O próprio Autor.

ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE À TABELA 10 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS MM03 E MM04.

	Group A	Group B	Group C	Group D
Col. title				
Mean	2.868	2.844	2.728	2.78
Standard deviation (SD)	0.3015	0.2941	0.2915	0.2665
Sample size (N)	5	5	5	5
Std. error of mean(SEM)	0.1348	0.1315	0.1304	0.1192
Lower 95% conf. limit	2.494	2.479	2.366	2.449
Upper 95% conf. limit	3.242	3.209	3.090	3.111
Minimum	2.330	2.330	2.460	2.460
Median (50th percentile)	2.990	2.990	2.610	2.780
Maximum	3.040	3.040	3.140	3.140
Normality test KS	0.4571	0.3352	0.2572	0.1503
Normality test P value	0.0010	0.0686	>0.10	>0.10
Passed normality test?	No	Yes	Yes	Yes

Kruskal-Wallis Test (Nonparametric ANOVA)

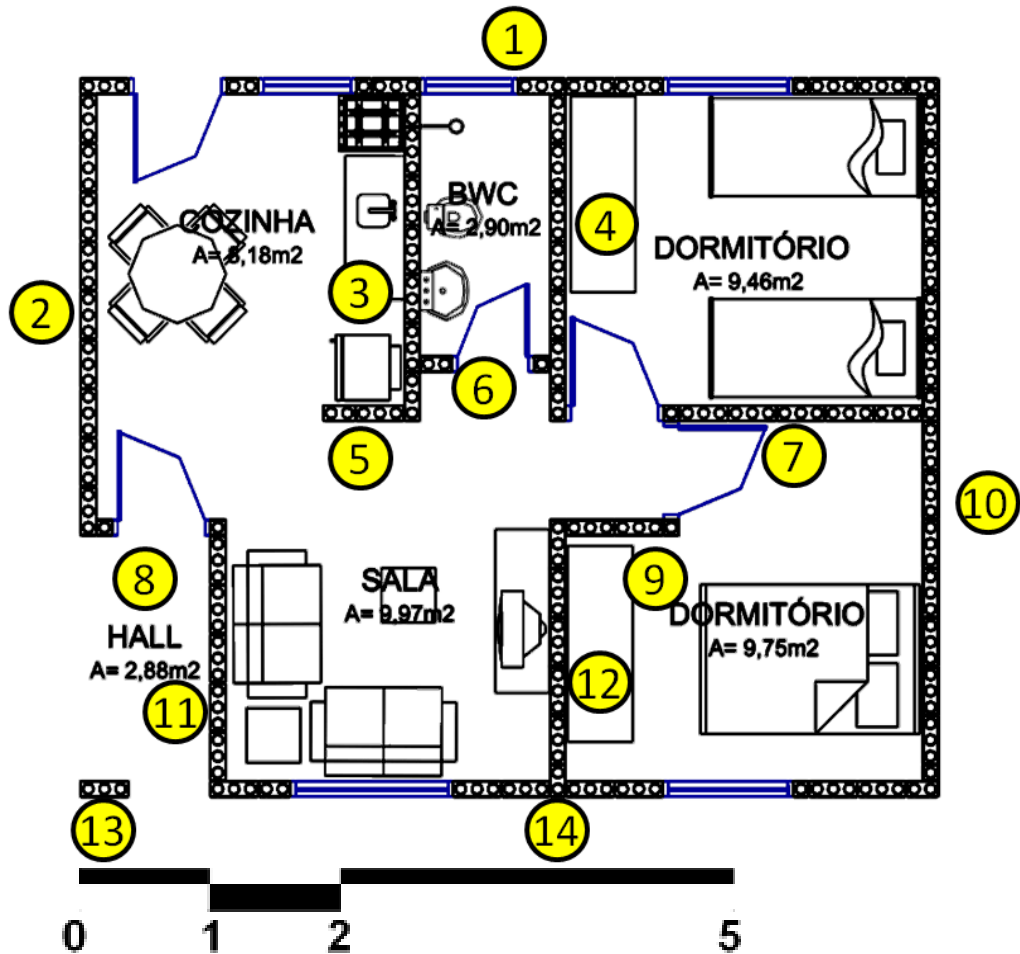
The P value is 0.8199, considered not significant.

Variation among column medians is not significantly greater than expected by chance.

VALORES REFERENTES A TABELA 13 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS TRAÇO MM03.

CORPOS DE PROVA	L1	L1	L2	L2	L3	L3	L4	L4	L5	L5	L6	L6	L7	L7	L8	L8
	7D	28D	7D	28D	7D	28D	7D	28D	7D	28D	7D	28D	7D	28D	7D	28D
CP 01	3,04	3,01	1,96	2,03	2,39	2,22	2,48	2,55	2,96	2,46	2,39	2,05	2,97	2,04	3,00	2,26
CP 02	2,99	2,95	2,68	1,90	1,78	2,20	3,16	2,83	2,94	2,36	2,02	2,06	2,70	2,27	3,01	1,94
CP 03	2,33	2,98	2,10	1,95	1,83	2,23	2,51	3,11	2,35	2,89	1,91	1,77	2,90	1,83	2,32	2,13
CP 04	2,99	2,73	2,26	2,28	2,18	2,13	2,50	2,39	2,92	2,79	2,06	2,10	3,12	2,14	1,99	2,34
CP 05	2,99	2,69	2,62	2,13	2,07	1,97	2,38	2,45	2,36	2,69	2,02	2,16	3,08	1,79	2,09	1,94
MÉDIAS	2,87	2,87	2,32	2,06	2,05	2,15	2,61	2,67	2,71	2,64	2,08	2,03	2,95	2,01	2,48	2,12
MEDIANA	2,99	2,95	2,26	2,03	2,07	2,20	2,50	2,55	2,92	2,69	2,02	2,06	2,97	2,04	2,32	2,13
DESV.PAD.	0,30	0,15	0,32	0,15	0,25	0,11	0,31	0,30	0,32	0,22	0,18	0,15	0,17	0,20	0,49	0,18
VARIÂNCIA	1,54	1,69	0,87	0,80	0,73	0,95	1,12	1,19	1,39	1,32	0,78	0,80	1,74	0,74	0,81	0,03

2 – PROJETO ARQUITETÔNICO DE UNIDADE HABITACIONAL DE REFERÊNCIA



PAREDES DE ALVENARIA DA UNIDADE HABITACIONAL DE REFERÊNCIA.

Fonte: O próprio Autor.

QUANTITATIVO DE TIJOLOS (UNIDADE HABITACIONAL DE REFERÊNCIA)

PLANO VERTICAL	TIJOLOS 6 Furos ¹⁹	TIJOLO SOLO-CIMENTO
P1=22m ²	726	990
P2= 11m ²	363	495
P3=9m ²	297	405
P4=9m ²	297	405
P5=2,5m ²	83	113
P6=0,5m ²	17	23
P7=10m ²	330	450
P8=0,5m ²	17	23
P9=2,5m ²	83	113
P10=20m ²	660	900
P11=7m ²	231	315
P12= 7m ²	231	315
P13= 1m ²	33	45
P14= 16m ²	528	720
TOTAL	3896	5312