



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO-ECOLÓGICO COM INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU**

RENAN MAYCON MENDES GOMES

Orientador: Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares

TERESINA

2018

RENAN MAYCON MENDES GOMES

**DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO-ECOLÓGICO COM INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Materiais Cerâmicos

Orientador: Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares

TERESINA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Gomes, Renan Maycon Mendes

G633d Desenvolvimento de tijolo-ecológico com incorporação de resíduos de
borracha de pneu / Renan Maycon Mendes Gomes. - 2018.
70 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal do
Piauí, Campus Teresina Central, 2018.

Orientador : Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares.

1. Tijolo de solo-cimento. 2. Resíduo de borracha de pneu. 3. Propriedades
tecnológicas. 4. Conforto térmico. I.Título.

CDD - 620.1

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

RENAN MAYCON MENDES GOMES

DESENVOLVIMENTO DE TIJOLO-ECOLÓGICO COM INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 27/09/2018.

BANCA EXAMINADORA

Assinado no original

Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares
Instituto Federal do Piauí (IFPI)
Orientador

Assinado no original

Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho
Instituto Federal do Piauí (IFPI)
Avaliador Interno

Assinado no original

Prof. Dr. Raimundo José de Sousa Castro
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)
Avaliador Externo

Dedico esta vitória a minha mãe, Maria da Cruz, ao meu irmão, Diego, a Juliana Severo e aos muitos amigos que fiz no PPGEM. Obrigado por estarem sempre me incentivando e apoiando. Vocês constituem a força que me mantém nesse caminho. Obrigado!!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que está sempre ao meu lado nos protegendo, iluminando meus passos e dando forças para continuar lutando pelos meus sonhos. Muito obrigada por fazer maravilhas na minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, pela oportunidade de crescimento científico.

Ao meu orientador Profº Dr. Roberto Arruda Lima Soares pelos ensinamentos, paciência e confiança. O senhor é parte fundamental dessa pesquisa e quero compartilhar os meus sinceros agradecimentos...

À minha mãe, Maria da Cruz Mendes, por todo o esforço que sempre fez para me proporcionar uma ótima educação e por todo o amor e apoio, por me ensinar a perseverar e por estar comigo em todos os momentos. A senhora me ajudou na busca para conquistar algo que eu sempre valorizei, conhecimento.

À Juliana Soares Severo, pelo apoio incondicional em todas as fases percorridas. Você me acompanha desde de minha graduação, e presenciou todos os altos e baixos ao longo do caminho, e sempre teve paciência para lidar com tudo.

Ao meu irmão, Diego Mayron Mendes Gomes, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim é muito importante.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM), pelas oportunidades oferecidas e por compartilharem conhecimentos essenciais para minha formação.

Aos meus amigos do mestrado pela amizade e pelos momentos compartilhados, em especial ao meu amigo Wendel Araújo pela ajuda durante as etapas da pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho que são essenciais no meu cotidiano, Tarcysio Helvys, Carol Mesquita, Leonardo Madeira, Karina, Maurício, Marcelo e Carlos Braúna.

RESUMO

O Brasil possui um déficit habitacional considerável, ou seja, muitas famílias sofrem com falta de moradia, muito em virtude do alto custo da aquisição de imóveis nas grandes cidades. Para auxiliar na redução desta problemática uma possível solução passa pela implantação de novas tecnologias capazes de ampliar o acesso à moradia, como o aproveitamento de resíduos. Este trabalho visa desenvolver um tijolo de solo-cimento com adição de resíduo de borracha de pneu, com o intuito de comparar suas características tecnológicas com os tijolos fabricados sem adição de resíduo, além de dar uma destinação ecologicamente correta ao resíduo de borracha de pneu. O primeiro passo foi caracterizar o solo utilizado para a fabricação dos tijolos, realizando os ensaios de granulometria, limites de Atterberg, análise química por fluorescência de raios-x e difração de raios-x. Em seguida, foram produzidos tijolos de solo-cimento com 0 %, 3 %, 6 % e 9 % de adição de resíduo. Os ensaios realizados de análise dimensional, absorção de água e resistência à compressão simples foram de acordo com as NBR 8491/2012, NBR 8492/2012 e NBR 10833/2012. Também foram realizados ensaios de conforto térmico. Os resultados demonstraram que a adição de resíduo não influencia, estatisticamente, na resistência dos tijolos, porém notou-se uma leve diminuição na resistência com o aumento da concentração do resíduo. A análise dimensional revelou que a adição de borracha não interferiu na sua estabilidade. Quanto a absorção de água, observou-se que o acréscimo de resíduo diminuiu a porosidade dos tijolos. Em relação ao conforto térmico, foi possível observar que o resíduo aumentou a eficiência dos tijolos, mantendo a temperatura mais amena e estável. Ao final do estudo foi possível observar que a adição de resíduo de borracha de pneu é uma alternativa viável para a produção de tijolos de solo-cimento.

Palavras-Chave: Tijolo de solo-cimento. Resíduo de borracha de pneu. Propriedades tecnológicas. Conforto térmico.

ABSTRACT

Brazil has a considerable housing deficit, that is, many families suffer from homelessness, much of it due to the high cost of acquiring real estate in big cities. To help reduce this problem, a possible solution involves the implementation of new technologies capable of increasing access to housing, such as the use of waste. This work aims to develop a soil-cement brick with the addition of rubber tire residue, in order to compare its technological characteristics with the bricks manufactured without addition of residue, besides giving an ecologically correct destination to the tire rubber residue. The first step was to characterize the soil used for the manufacture of the bricks, performing the granulometry tests, Atterberg boundaries, chemical analysis by x-ray fluorescence and x-ray diffraction. Then, soil-cement bricks were produced with 0%, 3%, 6% and 9% addition of residue. The tests of dimensional analysis, water absorption and resistance to simple compression were in accordance with NBR 8491/2012, NBR 8492/2012 and NBR 10833/2012. Thermal comfort tests were also performed. The results showed that the addition of residue does not statistically influence the strength of the bricks, but a slight decrease in resistance was observed with increasing concentration of the residue. Dimensional analysis revealed that the addition of rubber did not interfere with its stability. As for the water absorption, it was observed that the addition of residue decreased the porosity of the bricks. Regarding thermal comfort, it was possible to observe that the residue increased the efficiency of the bricks, keeping the temperature more pleasant and stable. At the end of the study it was possible to observe that the addition of rubber tire residue is a viable alternative for the production of soil-cement bricks.

Keywords: Soil-cement brick. Tire rubber residue. Technological properties. Thermal comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Fluxograma com as etapas realizadas no estudo.....	26
Figura 2	- Quarteamento da matéria-prima.....	27
Figura 3	- Redução da granulometria do material, com auxílio de forrageiro.....	28
Figura 4	- Realização do ensaio de peneiramento, com auxílio da mesa vibratória.....	28
Figura 5	- Máquina de compressão manual utilizada para fabricação dos tijolos.....	33
Figura 6	- Corpos-de-prova alinhados à sombra para secagem.....	33
Figura 7	- Corpos-de-prova alinhados à sombra para secagem.....	34
Figura 8	- Detalhe dos corpos-de-prova com resíduo de pneu.....	34
Figura 9	- Corte dos corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à compressão.....	35
Figura 10	- Corte dos corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à compressão.....	36
Figura 11	- Ensaio de resistência à compressão em andamento.....	36
Figura 12	- Ensaio de resistência à compressão em andamento.....	37
Figura 13	- Corpos-de-prova submersos em tanque de imersão.....	37
Figura 14	- Projeto da mini casa modelo.....	39
Figura 15	- Mini casa modelo construída.....	39
Figura 16	- Termômetro infravermelho medidor de temperatura, Instrutherm TI550.....	40
Figura 17	- Curva Granulométrica do Solo-01.....	42
Figura 18	- Curva Granulométrica do Solo-02.....	43

Figura 19	- Determinação do limite de liquidez.....	44
Figura 20	- Difração de Raios-X da Argila Solo-02.....	45
Figura 21	- Curva Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu.....	46
Figura 22	- Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-01.....	48
Figura 23	- Valores de resistência à compressão simples para os tijolos fabricados com o solo-01.....	51
Figura 24	- Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-02.....	54
Figura 25	- Resistência à compressão simples para os tijolos fabricados com o solo-02.....	56
Figura 26	- Gráfico de dispersão representando os valores de deformação máxima para os tijolos fabricados com o solo-02.....	57
Figura 27	- Comparação da temperatura média por parede, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.....	61
Figura 28	- Comparação da temperatura média por turno, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.....	62
Figura 29	- Variação média da temperatura média por parede, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.....	62
Figura 30	- Variação média da temperatura média por turno, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características do solo para fabricação de solo cimento.....	19
Tabela 2	- Composição química média de um pneu.....	24
Tabela 3	- Composição dos materiais contidos em pneus.....	25
Tabela 4	- Proporções utilizadas na fabricação do Lote 1.....	31
Tabela 5	- Proporções utilizadas na fabricação do Lote 2.....	32
Tabela 6	- Análise Química por Florescência de Raios-x dos solos.....	41
Tabela 7	- Resultado do ensaio Granulométrico do Solo-01.....	41
Tabela 8	- Resumo Granulométrico do Solo-02.....	42
Tabela 9	- Determinação da umidade dos pontos.....	44
Tabela 10	- Análise racional do Solo-02.....	45
Tabela 11	- Resumo Granulométrico do Resíduo de Borracha de Pneu...	46
Tabela 12	- Análise Química do Resíduo de Borracha de Pneu.....	47
Tabela 13	- Dimensões médias para o corpo-de-prova fabricados com o solo-01.....	47
Tabela 14	- Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-01.....	48
Tabela 15	- Teste ANOVA para o parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-01.....	49
Tabela 16	- Teste de Tukey para o parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-01.....	50
Tabela 17	- Valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova confeccionados com o solo-01.....	50
Tabela 18	- Teste ANOVA para o parâmetro resistência à compressão simples dos tijolos fabricados com o solo-01.....	51
Tabela 19	- Teste de Tukey para os parâmetros resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o	52

	solo-01	
Tabela 20	- Valores de desvio padrão para o parâmetro resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-01.....	53
Tabela 21	- Dimensões médias para o corpo-de-prova fabricados com o solo-02.....	53
Tabela 22	- Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-01.....	54
Tabela 23	- Teste ANOVA para o parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-02.....	55
Tabela 24	- Valores de resistência à compressão simples e deformação máxima dos corpos-de-prova confeccionados com o solo-02.	56
Tabela 25	- Teste ANOVA para o parâmetro resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-02.....	58
Tabela 26	- Teste de Tukey para os parâmetros resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-02.....	58
Tabela 27	- Valores de desvio padrão para o parâmetro resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-02.....	59
Tabela 28	- Temperaturas em °C para o modelo construído com tijolos de solo-cimento sem adição de resíduo de borracha de pneu.....	60
Tabela 29	- Temperaturas em °C para o modelo construído com tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de borracha de pneu.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICOS.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 SOLO-CIMENTO	17
3.2 RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU.....	22
4. METODOLOGIA	26
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	26
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU	30
4.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	31
4.4 ENSAIO DE ANÁLISE DIMENSIONAL.....	35
4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	35
4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	37
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
4.8 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	41
5.2 ENSAIO DE ANÁLISE DIMENSIONAL DO LOTE 01	47
5.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PARA O LOTE 01	48
5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA O LOTE 01.....	50
5.5 ENSAIO DE ANÁLISE DIMENSIONAL PARA O LOTE 02.....	53
5.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PARA O LOTE 02	54
5.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA O LOTE 02.....	56
5.8 ENSAIO DE CONFORTO TÉRMICO.....	59

6. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional no Brasil, que é de aproximadamente 5,2 milhões de residências, aliada às estimativas de que até 2024 mais de 10 milhões de famílias sejam constituídas, constitui-se em um grande problema social, cuja solução passa pela implantação de novas tecnologias capazes de ampliar o acesso à moradia (CARRARO et al., 2016).

Entre essas tecnologias, a literatura tem apontado o tijolo solo-cimento como uma alternativa ao material comumente utilizado (MOTTA et al., 2010; SALA, 2006). Segundo Motta et al. (2010), o tijolo de solo-cimento possui solo, cimento e água em sua composição, e a sua resistência à compressão equipara-se à do tijolo convencional. Sala (2006) define o tijolo ecológico ou de solo-cimento como o resultado de uma mistura de solo e cimento junto à água, que após a prensagem; seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, evitando desmatamentos e a poluição do ar. Para o assentamento, utiliza-se uma cola especial no lugar de argamassa.

Sobre as vantagens do tijolo de solo cimento, também conhecido como ecológico ou modular, destacam-se seu baixo custo, fácil fabricação e redução do impacto ao meio ambiente, já que não existe a queima no seu processo de produção, diferente de outros tipos de tijolos (CUNHA, 2007). Entretanto, a implantação do tijolo solo-cimento como alternativa de construção para moradias ainda enfrenta grande resistência cultural, em virtude da escassez de pesquisas que busquem ratificar a qualidade e os possíveis benefícios obtidos da utilização desse material na região da grande Teresina.

De acordo com Soares (2008), a preocupação com o desenvolvimento sustentável é um dos pilares da sociedade atual, o que tem incentivado diversos pesquisadores a buscarem alternativas para minimizar o impacto ambiental, em particular aquele causado pelas indústrias ceramistas. O autor destaca ainda que entre as principais ações tomadas para mitigar esses impactos encontra-se o uso de resíduos nas formulações cerâmicas.

Além disso, o meio ambiente e o uso adequado dos recursos naturais, em especial no que diz respeito ao descarte final dos resíduos produzidos principalmente pelas indústrias, tem se demonstrado como uma preocupação crescente dos consumidores finais e das indústrias.

No entanto, apesar das normas bem estabelecidas no Brasil acerca da destinação de resíduos sólidos, a exemplo da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº 258, a destinação correta dos diversos poluentes gerados, como o pneu na indústria automotiva, ainda é motivo de preocupação pelos problemas ambientais e de saúde que estão associados a esse material, que é comumente jogado em lixões, rios, ruas e locais abandonados (SOUZA et al., 2017).

Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias que possam auxiliar na reutilização de resíduos sólidos e que além disso, possam contribuir para a redução da problemática atual da falta de moradia vivenciada na Região Nordeste, em virtude do grande déficit habitacional experimentado pela sociedade brasileira nos últimos anos, justifica-se que o uso do tijolo de solo-cimento com reaproveitamento do resíduo de pneu apresenta-se como uma alternativa relevante, principalmente pela sua viabilidade econômica e ambiental.

Portanto, considerando o crescente interesse da sociedade brasileira sobre os impactos ambientais gerados pelo setor de construção civil, bem como a necessidade das indústrias e empreiteiras de se adequarem à legislação ambiental vigente, torna-se evidente a necessidade de estudos que possam viabilizar soluções ambientais, de forma econômica, reutilizando recursos potencialmente poluidores.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Estudar a incorporação de resíduos de borracha de pneu como uma matéria-prima alternativa em formulações para produção de tijolo de solo-cimento.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar o resíduo de borracha de pneu e os solos utilizados na produção tijolo solo-cimento;
- Produzir corpos de prova do tijolo solo-cimento com diferentes teores do resíduo de borracha de pneu e avaliar suas propriedades tecnológicas segundo as normas vigentes;
- Analisar e comparar o conforto térmico em uma edificação modelo construída com tijolo de solo-cimento sem e com a adição de resíduo de borracha de pneu;
- Avaliar a viabilidade técnica do resíduo de borracha de pneu como matéria-prima alternativa para produção do tijolo-ecológico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SOLO-CIMENTO

De acordo com Carraro et al (2016), o déficit habitacional é um dos grandes problemas sociais do Brasil, que atualmente apresenta uma carência de cerca de 5,2 milhões de residências. Nesse sentido, o referido autor ressalta ainda que, a solução pode estar na implantação de novas tecnologias e novos produtos, capazes de ampliar o acesso à moradia no país.

O tijolo de solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico por dispensar o processo de queima, apresenta-se como um novo produto para auxiliar na redução desse déficit habitacional, em virtude da sua produção simplificada e, relativamente, barata em comparação com outros blocos de alvenaria (CARRARO et al., 2016).

Dessa forma, Anjos; Ghavami; Barbosa (2003) afirmam que, atualmente, existe a necessidade de obtenção de novos materiais que apresentem baixo custo e baixo consumo de energia e que sejam capazes de satisfazer os anseios da população em geral, especialmente nos países em desenvolvimento.

Os tijolos de solo-cimento são uma alternativa viável de acordo com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, pois esse tipo de produto demanda baixo consumo de energia na extração da matéria-prima, além de dispensarem o processo de queima (GRANDE, 2013).

De acordo com Bauer (2013), o uso do solo estabilizado para construção data do século III, com a construção da muralha da China, que utilizou uma mistura de argila e cal na proporção de 3:7. Ainda de acordo com o autor o uso do aglomerante hidráulico como estabilizador do solo, cimento, só ocorreu por volta de 1800.

O solo-cimento foi descoberto pelo engenheiro inglês, H. E. Brook-Bradley, que teve a ideia de aplicar o produto no sul da Inglaterra como tratamento de pistas para veículos traçados a cavalo (BAUER, 2013).

Segundo Segantini (2000) desde sua concepção o solo-cimento teve grande aceitação no mercado, passando a ser utilizado em uma enorme variedade de construções, como na pavimentação de estradas e pátios industriais, na construção de aeroportos, no revestimento de barragens de terra e canais de irrigação, bem como na fabricação de tijolos, além de diversas outras aplicações.

Conforme explica Bauer (2013), os primeiros estudos em grande escala sobre o solo-cimento foram realizados por Moore-Fields e Mill, nos Estados Unidos em 1932. Dessa forma, em 1944 a *American Society for Testing Materials* (ASTM) normatizava os ensaios sobre o produto, sendo seguida por diversas entidades com a *América Association of State Highway Officials* (AASHO) e a *Portland Cement Association* (PCA) o que, posteriormente, ajudou a difundir o material ao continente Europeu, como na construção de aeroportos na Alemanha, durante a guerra, bem como na Inglaterra, sendo, em seguida, difundida para os países da América do Sul, como a Colômbia, a Argentina e o Brasil.

No Brasil, estima-se que a primeira construção a utilizar o solo-cimento foi uma casa de bombas com 42 m² de área para abastecimento das obras do aeroporto em Santarém, no estado do Pará. Em seguida, o produto se espalhou por todo o país com a construção de casas em Petrópolis-RJ, de um hospital em Manaus-AM entre outras obras (BAUER, 2013).

Resumidamente, o tijolo de solo-cimento pode ser definido como um tijolo fabricado através da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura hídrica resulta num produto com características de durabilidade e resistência (VIEIRA et al., 2007).

De acordo com a NBR 8491:2012 o tijolo de solo-cimento é um componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea de solo, cimento Portland e Água e, eventualmente, aditivos e ou pigmentos em proporções que permitam atender aos requisitos normativos (ABNT, 2012a).

Segundo Castro (2008), os principais componentes do solo-cimento são o cimento Portland, a água e o Solo, entretanto, podem ser empregados materiais alternativos na confecção do produto, como por exemplo o plástico, a borracha, o papel, o vidro, resíduos de demolição, rejeitos de produção industrial e outros, incluindo, também, a cal, que pode ser incorporada como potencializador de suas propriedades e na correção de uma possível acidez do solo.

Dessa forma, o solo que constitui o material é, basicamente, um conjunto de minerais, orgânicos, água e ar, que não se consolidaram na forma de rochas e, que, geralmente, localizam-se na superfície, abrangendo atividade biológica e capacidade para suportar a vida das plantas (CASTRO, 2008).

Para a ABCP (1985), os solos considerados mais arenosos estabilizam mais facilmente com menores teores de cimento, no entanto, a presença de partículas finas,

como a argila, na composição desse solo é fundamental para fornecer à mistura a coesão necessária para a retirada imediata do produto das formas de fabricação.

A NBR 10833:2012, que trata da fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com a utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento, recomenda os valores apresentados na tabela 1, para as principais características que o solo deve possuir (ABNT, 2012c).

Tabela 1- Características do solo para fabricação de solo cimento.

Característica	Condição
Porcentagem de solo que passa na peneira ABNT 4,75mm (n.º 4)	100%
Porcentagem de solo que passa na peneira ABNT 0,075mm (n.º 200)	10% a 50%
Limite de Liquidez	≤ 45%
Índice de Plasticidade	≤ 18%

Fonte: Adaptado de ABNT (2012c).

Vale ressaltar que o solo não deve conter matéria orgânica em excesso a ponto de prejudicar a hidratação do cimento (ABNT, 2012c). Dessa maneira, Lopes (2002) recomenda um valor de tolerância de no máximo 2% de material orgânico.

Conforme explica Castro (2008), o solo e, conseqüentemente, suas propriedades exercem grande influência na qualidade e no custo final do produto. Ressalta-se, ainda, que de acordo com o autor um bom solo apresenta uma composição granulométrica de 15% de finos e 85% de areias e pedregulho, ratificando que solos arenosos bem graduados, com um razoável teor de argila e silte, são os mais indicados, pois necessitam de menos cimento para a estabilização.

Vale ressaltar, que de acordo com Ferraz e Segantini (2004), na falta de um solo capaz de suprir as necessidades impostas pelas normas técnicas, deve-se considerar a possibilidade de misturar dois ou mais solos no intuito de reduzir o consumo de cimento.

O cimento é um material ligante pulverulento de cor acinzentada, resultante da queima do calcário, argila e posterior adição de gesso. Esse tipo de aglomerante distingue-se da cal hidratada por ter maior porcentagem de argila e pela pega dos seus produtos ocorrer mais rapidamente e proporcionar maior resistência a esforços mecânicos (BAUER, 2008).

Os principais constituintes do cimento são a cal, a sílica, a alumina, o óxido de ferro que constituem 95 a 96% do total da análise de óxidos, e em uma proporção menor, a magnésia (2 a 3%) e anidrido sulfúrico. Outros ingredientes menores ou impurezas são o óxido de sódio e óxido de potássio (denominados álcalis do cimento, quantidade inferior a 1%), óxido de titânio e outras substâncias (BAUER, 2008).

A fabricação do cimento inclui os processos de preparo e dosagem da mistura crua, homogeneização, cliquerização, esfriamento, adições finais, moagem e, por fim, ensacamento. O cimento comum é chamado Portland, havendo diferentes tipos no mercado: cimento de pega normal, encontrado comumente à venda; cimento de pega rápida, produzido sob encomenda e; cimento branco, utilizado para efeito estético (azulejos, etc.) (BAUER, 2008).

De acordo com Lopes (2002) a incorporação do cimento no solo é responsável por envolver fisicamente os grãos do solo, processo responsável por formar agregados que aumentam de tamanho conforme se procede a hidratação do cimento.

Conforme Vieira et al. (2007) o tijolo de solo-cimento apresenta diversas vantagens como boa durabilidade, boa resistência à compressão, faces lisas e regulares, economia de tempo na execução da obra, economia de matéria, além de conforto térmico e acústico para a residência. Entretanto, esse tipo de alvenaria também apresenta algumas desvantagens como exigir mão de obra qualificada na execução, não ser indicado para climas muito úmidos, além de, ainda, não apresentarem muitas pesquisas que garantam a viabilidade técnica do produto, no que diz respeito às suas características.

Ao longo do tempo várias pesquisas foram conduzidas com o tijolo de solo cimento com adição de algum constituinte, visando a melhoria das propriedades tecnológicas do tijolo. Os parágrafos a seguir apresentam alguns desses trabalhos.

Araújo et al. (2015) utilizaram água residuária da prensagem de mandioca para elaboração de tijolo ecológico como alternativa sustentável e avaliaram suas propriedades mecânicas. No parâmetro absorção observou-se que as massas cerâmicas apresentaram valores da ordem de 10 a 13 % e valores de resistência a flexão adequados para fabricação de tijolos maciços. Os autores concluíram que a troca da água pela adição da manipueira na massa cerâmica não interfere nas propriedades mecânicas e esta pode ser adicionada à massa cerâmica para fabricação de tijolos ecológicos através do processo de prensagem.

Lima; Neves; Carvalho (2010) buscaram quantificar o efeito da adição de resíduo granítico altera a durabilidade de tijolos ecológicos de solo-cimento, e verificaram que o aumento da incorporação de resíduo gera um decréscimo de suas propriedades mecânicas e um aumento considerável na perda de massa, evidenciando o desgaste. Ao final dos ciclos de molhagem e secagem seguidos de escovação as amostras com 50% de resíduo foram as que apresentaram a maior redução na resistência mecânica evidenciando o envelhecimento.

No estudo de Mota et al. (2011), a utilização de resíduos sólidos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais para a obtenção de tijolos ecológicos de solo-cimento não promoveu resultado significativo sobre o teor de absorção de água, com valores satisfatórios, abaixo de 20%. Por outro lado, os valores obtidos para a resistência à compressão simples, foram inferiores aos padrões mínimos exigidos pela norma regulamentadora, isso provavelmente pela granulometria do resíduo de caulim, considerado grosso. Os autores concluíram que os resíduos de granito e caulim são materiais promissores que podem promover a sustentabilidade.

Oliveira; Amaral; Schinaider (2014) objetivaram analisar as características físicas e mecânicas de tijolos compostos por misturas ternárias de solo-cimento-resíduo e obtiveram que os melhores resultados de resistência à compressão simples e absorção de água foram obtidos pela incorporação de 15% de resíduo na mistura. Entretanto, destaca-se que os resultados encontrados pelos autores não atenderam as recomendações das normas técnicas brasileiras pertinentes, contudo mostraram que a utilização de resíduo de tornearia mecânica para a fabricação de tijolos solo-cimento proporcionou melhorias nas características físico-mecânicas do tijolo solo-cimento.

Na pesquisa de Rodrigues (2008), a aplicação de resíduo de argamassa e areia oriundo da construção civil na produção de tijolos modulares de solo-cimento nas proporções 0, 5, 10, 15 e 20% não alterou os resultados de resistência à compressão, tendo efeito benéfico na absorção de água, em particular no tijolo a 15%. Dessa forma, foi comprovado a viabilidade técnica da utilização desses resíduos na produção de tijolo ecológico, o que certamente contribui para reduzir o descarte inadequado desses materiais e amenizar os prejuízos ao meio ambiente.

Llajaruna (2016) estudou os teores adequados de pó de mármore e resíduo para a realização de tijolo. Observou-se que no estado fresco, que o teor de pó de mármore e resíduo de construção ajudaram na trabalhabilidade e na vazão e

segregação. No estado endurecido, com os teores de 20% pó de mármore e 10% de resíduo de construção fez com que a mistura tenha melhor desempenho mecânico, comparado as outras dosagens, para a fabricação de tijolos. O resultado de resistência, de 6,4 Mpa, e absorção de água, de 19,7% do tijolo foram satisfatórios e dentro das exigências das normas brasileiras.

Mendes; Zanotti; Menezes (2014) avaliaram a possibilidade de aproveitamento do resíduo de porcelanato para a produção de tijolos de solo-cimento e verificaram que o tijolo de solo-cimento com adição do resíduo de porcelanato atendeu as normas da ABNT de resistência a compressão e absorção de água. Em suma, percebeu-se que o aproveitamento do resíduo para a produção de tijolo ecológico contribui para reduzir a exploração de recursos naturais e reutilização de materiais que poderiam contribuir para o esgotamento desses recursos.

3.2 RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU

A população mundial tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, levando ao aumento da poluição e despejo de resíduos urbanos com destinação inadequada. Um dos principais problemas atuais diz respeito à destinação de pneus que, apesar de ser um material inerte, não conter metais pesados em sua composição e não sofrer lixiviação, é um produto de difícil descarte (KUNDU; ROY, 2012; TEXEIRA et al., 2014; MOTTA, 2008).

Os pneus são produtos formados a partir de um invólucro composto de borracha que é ligado ao aro da roda. A produção do invólucro requer diversos ingredientes, como a borracha natural, borracha sintética derivada do negro de fumo originado do petróleo, enxofre, além de filamentos metálicos e sintéticos como cabos e cordonéis de aço que compõem o aro da roda (POURRE, 2016).

Entre os processos que fazem parte da produção do pneu, a vulcanização é considerada a mais relevante, pois é a etapa onde os pneus ganham forma e se tornam mais seguros, por meio da elevada absorção de impactos. Nessa fase, ocorre a incorporação do enxofre e o pneu é disposto em um molde e exposto à determinada temperatura e pressão, durante certo período de tempo, atribuindo consistência ao material (POURRE, 2016).

A destinação inadequada de resíduos urbanos pode levar a sérios prejuízos e impactos sobre a saúde humana. Portanto, a utilização de aterros sanitários como

local de despejo deve ser considerada como último recurso na disposição final dos rejeitos sólidos, pois constituem uma forma de armazenamento no solo, com elevada produção de gases tóxicos. Além disso, são requeridas áreas cada vez maiores, pois possuem vida-útil limitada (FERREIRA; CRUVINEL; COSTA, 2014).

Outro aspecto a ser mencionado é que a acumulação de pneus a céu aberto pode servir de reservatório de água para a geração de mosquitos e vetores de diversas doenças, como a dengue. Já a queima desses produtos, promove a contaminação do solo e de lençóis freáticos e a liberação de gases tóxicos e produtos cancerígenos (MOTTA, 2008).

Diversos pesquisadores têm buscado estudar formas alternativas de descarte de pneus, devido ao grande problema ambiental que eles representam atualmente no Brasil, visto que na década de 2000 já existiam mais de 100 milhões de pneus inservíveis abandonados no meio ambiente no país (MOTTA, 2008; LAGARINHOS; TENÓRIO, 2009).

A crescente preocupação da população com o meio ambiente, fenômeno chamado de “consciência ambiental” e seu papel como mercado consumidor tem motivado grandes empresas a utilizar produtos que possam minimizar danos ao meio ambiente ou mesmo ajudar a recuperá-lo (BORGES; TACHIBANA, 2005). Nesse sentido, diversos resíduos de grande produção têm sido estudados como uma alternativa viável para sua reutilização na incorporação de alguns produtos da indústria de construção civil, visto sua demorada degradação e produção em larga escala, com grande impacto ambiental (MARTINS, 2005).

Dessa forma, em virtude da natureza e propriedades diversificadas dos materiais cerâmicos, a incorporação de resíduos com o objetivo de evitar o descarte desses mostra-se como uma alternativa viável para solucionar esse problema ambiental (SIQUEIRA et al., 2016).

Em estudo sobre a destinação de pneus, Lagarinhos e Tenório (2009) apontam os benefícios da reciclagem desse produto, visto que podem servir para inúmeras destinações, em particular, por sua aplicabilidade na indústria de construção civil, devido às características inerentes a este material, como leveza, elasticidade, absorção de energia, propriedades térmicas e acústicas (BRAVO, 2014).

O resíduo de borracha de pneu é um produto resultante da moagem mecânica da borracha vulcanizada, coletados diretamente nas recauchutagens/recapagens de pneus automotivos, que em virtude de suas propriedades pode apresentar-se como

um reforço da matriz do tijolo de solo-cimento, além de possibilitar a reutilização desses materiais de forma ecologicamente correta (PEREIRA; FAZZAN; FREITAS, 2015).

De acordo com Da Rosa; Souza; Bilibio (2016) reaproveitar a borracha de pneu na produção de tijolo ecológico, no mínimo, traz benefícios ambientais tais que justifiquem sua produção.

Conforme Pereira, Fazzan; Freitas (2015), além desse benefício ambiental, a produção de tijolo solo-cimento com resíduo de borracha de pneu traz benefícios à resistência à compressão uma vez a fibras da borracha podem ser responsáveis por absorver parte dos esforços, participando, portanto, ativamente no processo de ruptura dos tijolos. Pesquisas realizadas pelo mesmo autor revelaram que a adição do resíduo aumentou em até 13,9% a resistência média dos corpos-de-prova, em relação ao tijolo de solo-cimento sem o resíduo. Ressalta-se, ainda, que houve uma melhora na resistência dos corpos-de-prova com o aumento do período de cura de 7 dias para 14 dias da ordem de 16,3% para os tijolos com adição de resíduo.

De acordo com Moura (2017), a composição química dos pneus apresenta, majoritariamente, elementos como o carbono, hidrogênio, óxido de zinco, enxofre e ferro, como indica a tabela 2. Ainda, conforme o autor, a comparação dos materiais contidos nos pneus de automóveis de passeio e caminhões pode ser observada na tabela 3.

Tabela 2- Composição química média de um pneu

Elemento/composto	%
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxido de zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

Fonte: Adaptado de Moura (2017).

Tabela 3- Composição dos materiais contidos em pneus.

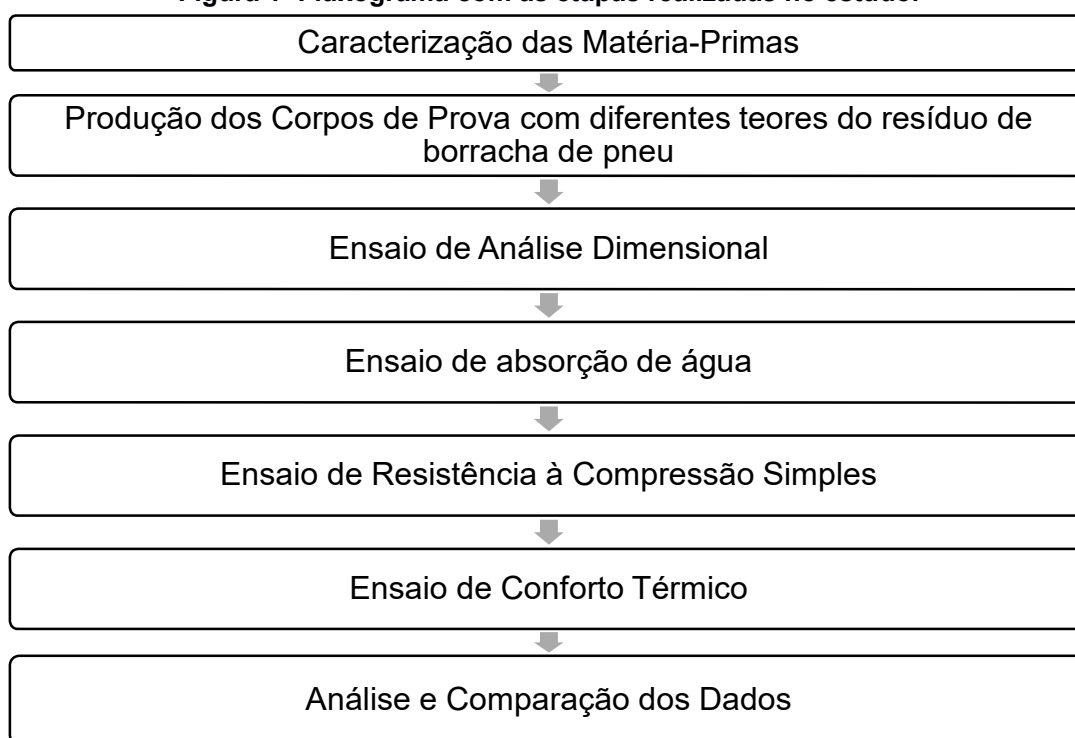
	Automóvel	Caminhão
Material	%	%
Borracha/Elastômeros	48	45
Negro de fumo	22	22
Aço	15	25
Tecido de nylon	5	-
Óxido de zinco	1	2
Enxofre	1	1
Aditivos	8	5

Fonte: Adaptado de Moura (2017).

4 METODOLOGIA

Nessa pesquisa foi estudado a viabilidade técnica do resíduo de pneu para a produção de tijolo solo-cimento no Estado do Piauí. Os dados foram coletados por pesquisadores do laboratório de cerâmica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM), localizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). O período de coleta de dados foi compreendido entre setembro de 2016 a março de 2018. As etapas seguidas na metodologia estão descritas na figura 1.

Figura 1- Fluxograma com as etapas realizadas no estudo.



4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A primeira etapa do estudo compreendeu na caracterização das matérias-primas utilizadas para a confecção do tijolo de solo-cimento, com o objetivo de identificar e classificar esse material para posterior produção dos corpos de prova.

Foram coletados dois tipos de solo diretamente em uma cooperativa na cidade de Teresina – PI, localizada no Bairro Mocambinho, região norte do perímetro urbano

da cidade. Esses solos são utilizados para a fabricação e venda de tijolos de solo-cimento por essa associação.

A primeira amostra de solo é conhecida na região como massará, que é um material geralmente de textura arenosa argilosa, encontrado facilmente na cidade de Teresina-PI e entornos. Já a segunda amostra é composta por uma mistura de argilas da região.

Para fins de diferenciação dos solos, para este estudo, a primeira amostra foi nomeada de Solo-01 e a segunda de Solo-02.

Após a coleta do material na jazida, a amostra de cada solo foi encaminhada ao laboratório de cerâmica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM), localizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), na Praça da Liberdade, 1597 - Centro - Teresina - PI, onde passou por um processo de quartejamento (figura 2) para obter uma amostra representativa de 2 kg dos solos para realizar os ensaios de caracterização.

Figura 2 - Quartejamento da matéria-prima.



Em seguida, colocou-se as amostras em uma estufa a 110 °C por 24 h para secagem com a finalidade de remover a umidade, restando, portanto, somente a umidade higroscopia do solo. Depois foi extraída a quantidade ideal para as análises de granulometria e limites de attemberg, química e mineralógica. O restante do material foi moído em uma máquina triturador forrageiro, conforme mostra a figura 3, adaptada para destorroar o material para reduzir ao tamanho ideal das partículas para confecção dos corpos de prova.

Figura 3- Redução da granulometria do material, com auxílio de forrageiro.



Para o ensaio de granulometria foi utilizado 100 g de cada amostra (solo-01 e solo-02). Estas foram colocadas em agitador de peneiras composta pelas as peneiras #10, #20, #40, #60, #80, #100 e #200, afim de caracterizá-los quanto a distribuição e tamanhos das partículas sólidas, conforme apresentado na figura 4:

Figura 4- Realização do ensaio de peneiramento, com auxílio da mesa vibratória.



Após a realização do ensaio granulométrico, realizou-se a determinação dos limites de *Atterberg* para conhecer o limite de liquidez e o limite de plasticidade dos solos.

Conforme explica Soares (2008), a plasticidade das massas cerâmica, que é avaliada através dos limites de consistência obedecendo os preceitos das normas NBR 6459/16 e NBR 7180/16, é uma propriedade de grande relevância para os produtos cerâmicos, sendo que o limite de plasticidade (LP) indica o teor de água mínimo presente na massa para permitir a conformação, o limite de liquidez (LL) representa o máximo teor de água para aceitar a moldagem e o índice de plasticidade (IP) corresponde a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

Para a realização do ensaio do limite de liquidez foram utilizados uma estufa, capaz de manter a temperatura entre 60 a 65°C e 105 e 115°C, uma capsula de porcelana, uma espátula, um aparelho de casa grande, um cinzel e uma balança com precisão de 0,01g, conforme recomenda a NBR 6459/16.

Antes da realização do ensaio os solos foram peneirados e retirados uma amostra representativa, posteriormente adicionou-se água destilada até formar uma pasta uniforme consistente, deixando-as em repouso pelo período de 24h, em recipiente fechado, após o termino desse período os solos foram transferidos para uma placa de vidro e homogeneizados, com o auxílio da espátula.

Após a preparação das amostras de solos, com o auxílio da espátula, transferiu-se o material para a concha do aparelho de casa grande, alisando a superfície, de modo a se obter uma camada com espessura de 10mm na parte mais funda da concha, em seguida, foi realizado uma ranhura ao longo do plano de simetria do aparelho, com o auxílio do cinzel, posteriormente, a manivela do aparelho de casa grande foi acionada, produzindo golpes na concha até o fechamento da ranhura, logo após, foram coletados uma amostra do solos junto às bordas para a determinação da umidade. Esse procedimento foi repetido cinco vezes, para cada uma das duas amostras de solos.

Para o ensaio de plasticidade foi formada uma pequena bola com os solos e rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para formar um cilindro, que ao fragmentasse atingindo a espessura de 3mm foi pesada rapidamente para a determinação do peso úmido e levada a estufa para posterior determinação do peso seco, encontrando-se, assim, a umidade do material. Esse procedimento foi realizado três vezes, conforme recomenda a norma vigente.

Dessa maneira, para completar a caracterização das amostras procedeu-se à análise química, através da técnica de Fluorescência de Raio X (FRX), e à análise mineralógica, através da técnica de Difractometria de Raio X (DRX), sendo ambas as técnicas realizadas nos laboratórios do PPGEM.

A Fluorescência de Raio X (FRX) consiste em uma técnica não destrutiva que admite a identificação dos elementos constituintes do solo, bem como permite estabelecer a proporção de cada elemento na amostra (SOARES, 2008).

Dessa forma o FRX caracteriza-se por ser um processo de análise flexível, uma vez que permite a observação de substâncias em estados diversos, como gases, soluções, plasma, líquidos etc. Como utiliza a radiação para observar a composição de uma amostra, necessita-se de um conhecimento sobre o comportamento das moléculas, as ligações que essas apresentam, a geometria molecular, além do comportamento das ondas e suas propriedades (STUART, 2005).

Já a Difractometria de Raio-X (DRX) consiste em uma técnica analítica de caracterização química e estrutural de minerais bastante aplicada na análise de solos. Este ensaio permite a identificação e quantificação das fases cristalinas e, portanto, não é indicado para materiais amorfos ou semi-cristalinos (ACCHAR, 2006).

Para a análise racional foi utilizada o programa QuantFases desenvolvido no Instituto Federal do Piauí – IFPI (SILVA & SOARES, 2015).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU

A segunda etapa da pesquisa consistiu na coleta e caracterização do resíduo de borracha de Pneu. A coleta desse material, foi realizada em renovadoras de Pneus de Veículo, localizadas na região da grande Teresina.

Após a coleta do material, esse resíduo foi conduzido até os laboratórios do PPGEM para sua caracterização granulométrica e química, através de ensaio peneiramento e da técnica de FRX, respectivamente. Nestes ensaios, procedeu-se da mesma forma adotada com os dois tipos solos.

4.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Com o uso do solo-01 foram produzidos os primeiros tijolos de solo-cimento, denominados neste trabalho de Lote 01, analogamente, os corpos de prova confeccionados com o solo-02 foram nomeados de Lote 02.

Os corpos-de-prova, com utilização do solo-01, foram fabricados no laboratório de cerâmica do PPGEM e as proporções de solo, cimento Portland CP II-Z-32 e resíduo são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Proporções utilizadas na fabricação do Lote 1.

Amostra	Solo	Cimento	Resíduo	Teor de Resíduo	Traço
	(Litros)	(Litros)	(Litros)	(%)	(Litros)
F0-1	80,00	10,00	0,00	0,00	8 solo : 1 cimento
F1-1	80,00	20,00	0,50	0,55	8 solo : 1 cimento
F2-1	80,00	10,00	1,00	1,10	8 solo : 1 cimento
F3-1	80,00	10,00	5,00	4,76	4 solo : 1 cimento

Conforme mostra a tabela 4, as formulações foram nomeadas de acordo com a porcentagem de resíduo, em F0 (padrão), F1 (0,55% de resíduo), F2 (1,10% de resíduo), F3 (4,76% de resíduo), sendo que o número 1 no final da sigla indica que o mesmo foi fabricado com o solo-01. Vale lembrar, que em virtude da deficiência de finos do solo 01 verificado nos ensaios de caracterização, para que a massa aceitasse esse teor de resíduo foi preciso aumentar a quantidade de cimento da formulação.

Com auxílio de uma máquina de compressão manual foram produzidos 10 corpos-de-prova de cada tipo, sendo 7 destinados ao ensaio de compressão e 3 para o ensaio de absorção de água.

Após a confecção dos corpos-de-prova, os mesmos passaram por um período de cura hídrica por um período de 7 dias, com uso de um regador. Durante esse período os tijolos foram umedecidos, todos os dias, para possibilitar a hidratação do cimento.

Após a fabricação e ensaios dos tijolos de solo-cimento com a utilização do solo-01, solo com características de solo arenoso com pouca presença de finos, procedeu-se a confecção dos tijolos com uso do solo-02, um solo com característica argilosa com maior presença de finos.

Para fabricação desses corpos-de-prova utilizou-se as proporções de solo, cimento e resíduo, conforme apresenta a tabela 5. Ressalta-se que, em virtude da maior plasticidade do material verificada nos ensaios de caracterização, foi possível aumentar a concentração de resíduo.

Tabela 5 - Proporções utilizadas na fabricação do Lote 2.

Amostra	Solo	Cimento	Resíduo	Teor de Resíduo	Traço
	(Litros)	(Litros)	(Litros)	(%)	(Litros)
F0-2	80,00	10,00	0,00	0,00	8 solo : 1 cimento
F1-2	80,00	10,00	2,70	3,00	8 solo : 1 cimento
F2-2	80,00	10,00	5,40	6,00	8 solo : 1 cimento
F3-2	80,00	10,00	8,10	9,00	8 solo : 1 cimento

Conforme indica a tabela 5 as proporções de resíduo incorporada na massa foram de 0%, 3%, 6% e 12% representadas pelo prefixo F0, F1, F2 e F3, respectivamente, sendo que o número 2 no final da sigla indica que o mesmo foi fabricado com o solo-02. Ressalta-se, ainda, que uma porcentagem maior que 9% de resíduo de borracha de pneu dificultou muito a remoção do tijolo do molde da máquina, inviabilizando a utilização de maiores percentuais, para esse tipo específico de solo.

A exemplo dos tijolos fabricados com o solo-01, foram confeccionados 10 corpos-de-prova para cada formulação, dois quais 7 passaram pelo ensaio de compressão simples, 3 pelo ensaio de absorção de água e todos participaram do teste de análise dimensional. Totalizando, foram confeccionados 80 corpos de prova, 40 tijolos para cada solo utilizado.

Para a produção dos corpos de prova foi observado o exposto na NBR 10833/2012, que disserta sobre o procedimento de fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica.

Primeiramente, o solo e o cimento, na proporção de 8:1, foram homogeneizados com o auxílio de uma betoneira, com posterior adição de água, sendo a mistura agitada até a obtenção da consistência ideal para moldagem dos corpos de prova no formato dos tijolos, em seguida transferiu-se a massa para o recipiente da máquina, na qual os tijolos foram moldados.

Ressalta-se que os tijolos foram moldados no laboratório de cerâmica do PPGEM, com o auxílio de uma presa manual, conforme mostra a figura 5. Posteriormente, foram empilhados à sombra, como mostra a figura 6, sobre uma

superfície plana e lisa e submetidos a uma cura hídrica por aspersão manual, com o auxílio de um regador, conforme mostra a figura 7, por um prazo de 7 dias. Após os 14 dias os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de compactação e de absorção de água.

Figura 5 - Máquina de compressão manual utilizada para fabricação dos tijolos.



Figura 6 - corpos-de-prova alinhados à sombra para secagem.



Figura 7 - corpos-de-prova alinhados à sombra para secagem.



De acordo com a NBR 8492/2012, que disserta sobre os métodos de ensaios para o tijolo de solo-cimento, quanto à análise dimensional, à determinação da resistência à compressão e à absorção de água, foram produzidos um total de 10 corpos de prova, dos quais 7 foram utilizados no ensaio de compressão e 3 no ensaio de absorção de água, para cada formulação.

A figura 8 apresenta o aspecto físico do tijolo com adição de resíduo de borracha de pneu.

Figura 8 - Detalhe dos corpos-de-prova com resíduo de pneu.



4.4 ENSAIO DE ANÁLISE DIMENSIONAL

Os tijolos foram submetidos a análise dimensional, conforme a NBR 8492/2012, com o auxílio de um paquímetro com resolução de 0,5 mm e comprimento adequado à dimensão máxima do tijolo. Foram executadas três dimensões em pontos distintos em cada face, uma determinação em cada extremidade e uma no meio do corpo de prova, com exatidão de 0,5 mm, e anotado os valores médios.

4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Para a realização do ensaio de compactação foram utilizados 7 corpos de prova para cada formulação, conforme recomenda a norma.

Antes do ensaio de compactação os corpos de prova passaram pela análise dimensional, para a obtenção da dimensão resultante da média de pelo menos três determinações em pontos diferentes, com precisão de 1mm.

Após à análise dimensional, os corpos de prova foram cortados ao meio, com a ajuda de um arco de serra manual, como indica a figura 9, perpendicularmente a sua maior dimensão, superpondo as duas metades, com superfícies cortadas invertidas, ligando-as com uma pasta fina de cimento Portland, pré-contraída com repouso de 30 min e espessura de 2 a 3 mm, conforme mostra a figura 10.

Figura 9 - Corte dos corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à compressão.

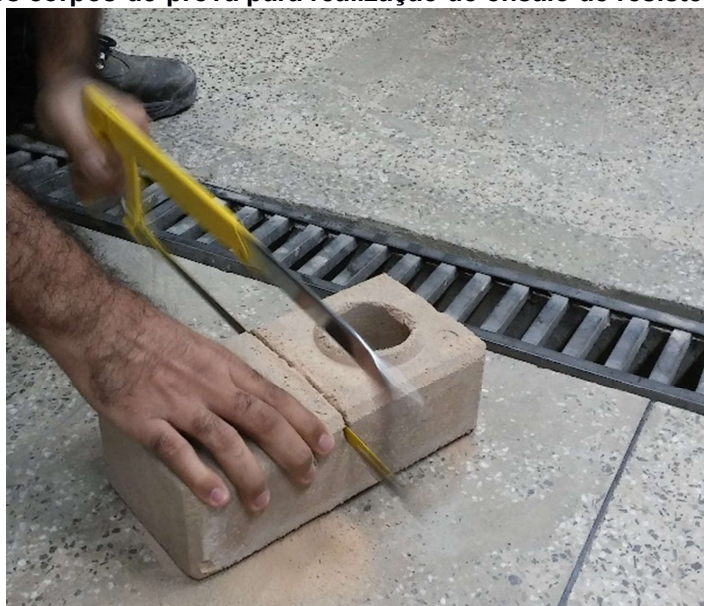
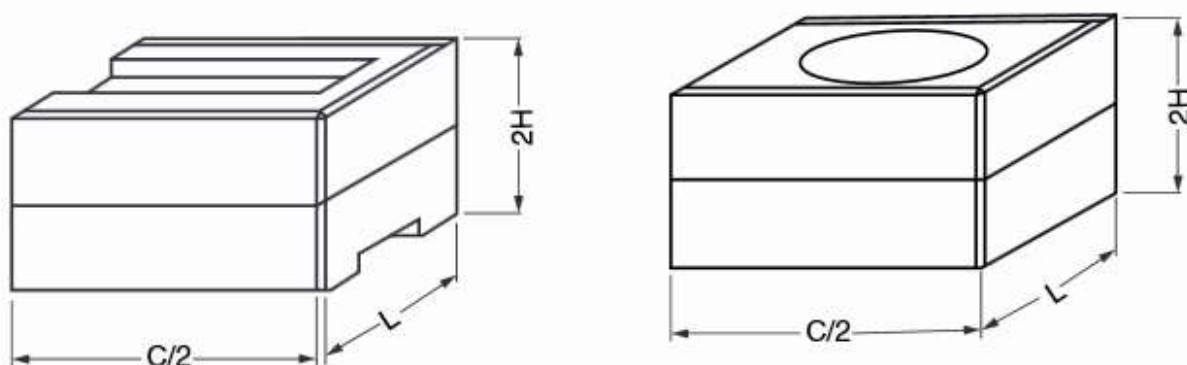


Figura 10 - Corte dos corpos-de-prova para realização do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: ABNT (2012b).

Em seguida, procedeu-se ao envelopamento, também, com pasta fina de cimento Portland, espessura entre 2 e 3 mm, com o auxílio de uma forma de madeira. Após 24 horas, foi realizada a regularização da fase de trabalho oposta. Decorridos mais 24 horas, após a regularização das duas fases do corpo de prova, os mesmos foram submergidos em um recipiente com água durante o período de um dia.

Decorrido os processos citados a cima, os corpos de prova foram ensaiados com uma velocidade de ensaio de 500 N/s (500 kgf/s) pela máquina universal de ensaios Autograph AG-X 250KN, da fabricante Shimadzu, do laboratório de mecânica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais – PPGEM, conforme mostra a figura 11.

Figura 11 - Ensaio de resistência à compressão em andamento.



A figura 12 mostra um desses ensaios em andamento.

Figura 12 - Ensaio de resistência à compressão em andamento.



4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a realização do ensaio de absorção de água foram utilizados os 3 corpos de provas restantes para cada formulação.

Os tijolos foram transferidos para a estufa entre 105°C e 110°C até a constância de massa, sendo que as pesagens foram realizadas depois dos tijolos atingirem a temperatura ambiente, obtendo a massa do tijolo seco. Em seguida, os corpos de prova foram imersos em um tanque durante 24h, conforme apresenta a figura 13. Posteriormente, os tijolos foram enxugados superficialmente com pano úmido e pesados antes de decorridos 3 minutos, obtendo a massa do tijolo saturado.

Dessa maneira, os valores individuais de absorção de água foram calculados, sendo que de acordo com a NBR 8492/2012 esses valores individuais não poderiam ultrapassar 22% e o valor médio não deveria ser inferior à 20%.

Figura 13 - Corpos-de-prova submersos em tanque de imersão.



4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram organizados em planilhas do Excel®, para realização de análise descritiva das variáveis observadas nos grupos estudados. Posteriormente, os dados foram exportados para o programa SPSS (for Windows® versão 20.0) para análise estatística dos resultados.

Foi realizado teste para comparação das médias das variáveis absorção de água e resistência à compressão simples, entre as formulações adotadas. Para tanto, foi utilizada a análise de variância (ANOVA), considerando a distribuição paramétrica dos dados. O teste de Tukey e o de Bonferroni foram utilizados para comparar as médias entre os diferentes tratamentos.

4.8 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

Após a determinação das características técnicas dos tijolos, foram confeccionados mais 24 tijolos sem adição de resíduo de borracha de pneu e 24 tijolos com adição de 6% do resíduo, para construir duas mini casas modelo, conforme apresenta a figura 14 e figura 15.

Os dois modelos de casas foram construídos em um terreno amplo com uma distância superior a 4 metros de qualquer obstáculo para garantir insolação máxima e em condições iguais para as duas mini casas. Para a construção dos telhados foram utilizados telha verde, com as mesmas dimensões e características.

Ressalta-se que os pequenos modelos de edificações apresentam as mesmas características, com relação ao método construtivo, posicionamento e dimensões, para evitar distorções nos resultados.

Figura 14 - Projeto da mini casa modelo.

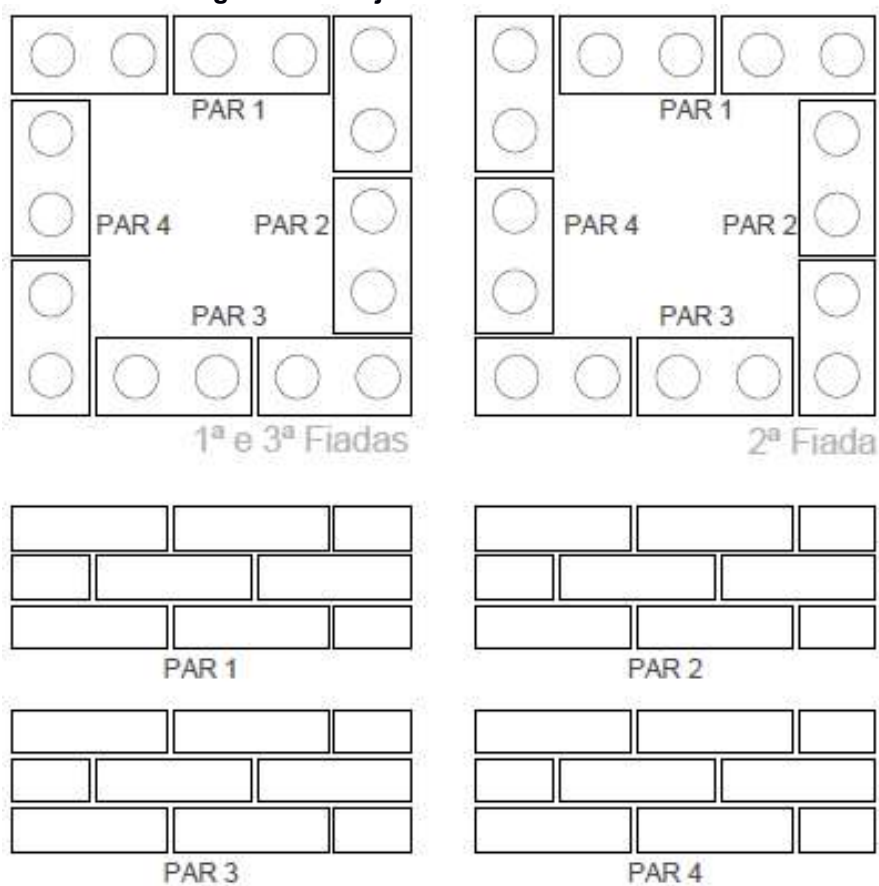


Figura 15 - Mini casa modelo construída.



a) Modelo sem adição de resíduo de borracha de pneu



b) Modelo com adição de resíduo de borracha de pneu

Posteriormente a construção dos modelos foi realizado o ensaio de aferição das temperaturas internas das paredes, com o auxílio de um termômetro digital portátil infravermelho a laser escala -50 a 550°C, da fabricante Instrutherm, modelo TI550 com precisão de $\pm 1,5$ °C, conforme mostra a figura 16.

Figura 16 - Termômetro infravermelho medidor de temperatura, Instrutherm TI550.



Foram realizadas 3 aferições de temperatura por dia, às 7:00h, às 12:00h e às 18:00h, durante cinco dias consecutivos. Esses horários, foram escolhidos para representar os turnos manhã, tarde e noite.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A análise química dos dois solos utilizados na pesquisa é apresentada na tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Análise Química por Florescência de Raios-x dos solos.

Análise Química por Florescência de Raios-x da Argila (%)				
Amostra	Silício (Si)	Alumínio (Al)	Ferro (Fe)	Outros
Solo-01	77,5	18,8	2,5	1,2
Solo-02	60,9	32,4	5,3	1,4

Conforme mostra a tabela 6, pode-se observar que para o Solo-01 existe um alto teor de silício (77,5%) seguido do alumínio (18,8%), indicando que este solo é um material argiloso mais arenoso que o solo-02 que apresentou uma menor concentração de silício (60,9%).

Já composição química da argila Solo-02 apresenta os constituintes básicos, óxidos SiO_2 e Al_2O_3 , com predominância do SiO_2 , como indicativo da presença de sílica livre e quartzo, que será confirmada com os ensaios de DR-X. O Al_2O_3 está associado à presença de argilominerais (filossilicatos) neste solo.

A tabela 7 e a tabela 8 apresentam os resultados dos ensaios granulométricos por peneiramento das amostras do solo-01 e do solo-02, respectivamente.

Tabela 7 – Resultado do ensaio Granulométrico do Solo-01.

Classificação	Teor retido (%)
Pedregulho (>4,8mm)	0,00
Areia Grossa (4,8 - 2,0mm)	9,75
Areia Média (2,0 - 0,42mm)	57,04
Areia Fina (0,42 - 0,074mm)	32,21
Silte+Argila (< 0,074mm)	0,99
Total	100,00

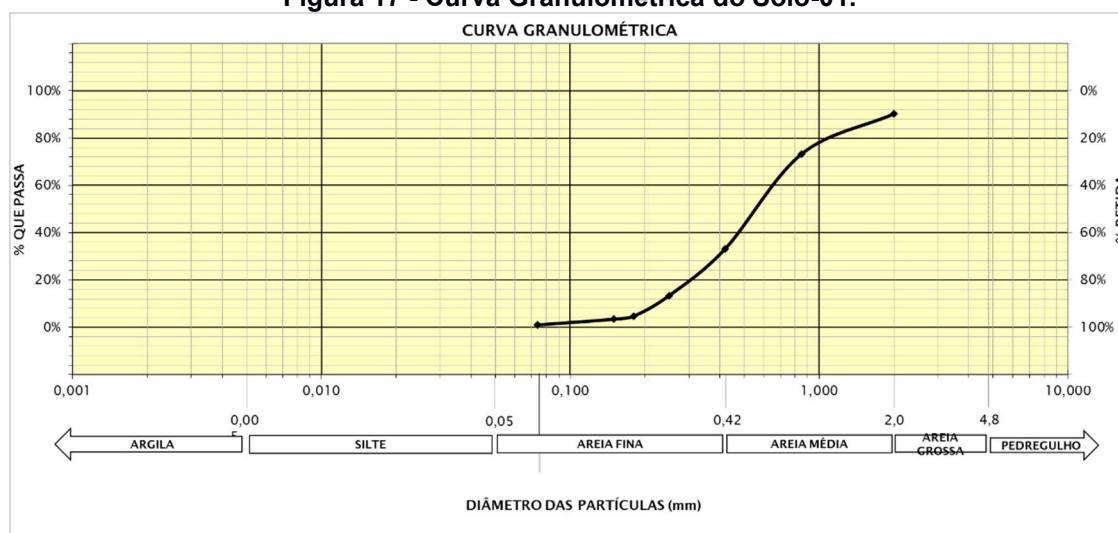
Tabela 8 - Resumo Granulométrico do Solo-02.

Classificação	Teor (%)
Pedregulho (>4,8mm)	0,00
Areia Grossa (4,8 - 2,0mm)	0,10
Areia Média (2,0 - 0,42mm)	14,00
Areia Fina (0,42 - 0,074mm)	80,00
Silte+Argila (< 0,074mm)	5,00
Total	100,00

Sobre a tabela 7 é possível inferir que o ensaio de peneiramento ratificou o resultado da análise química, apresentado na tabela 6, que mostrou uma maior concentração do óxido de silício, característico de solos arenosos. Ao passo que a tabela 8 demonstrou que o solo-02 apresentou uma porcentagem de solo fino mais acentuada do que o solo-01, conforme também indicada na análise química do mesmo. Também se verificou no solo-02, uma maior concentração de Al_2O_3 , indicando uma maior presença de material argilomineral neste solo.

A figura 17 apresenta o gráfico da curva granulométrica para o Solo-01. Analisando a figura é possível concluir que o solo apresenta deficiência em partículas finas, ou seja, baixa presença de argila no solo, indicando que os tijolos confeccionados com esse solo podem apresentar baixa coesão.

Figura 17 - Curva Granulométrica do Solo-01.



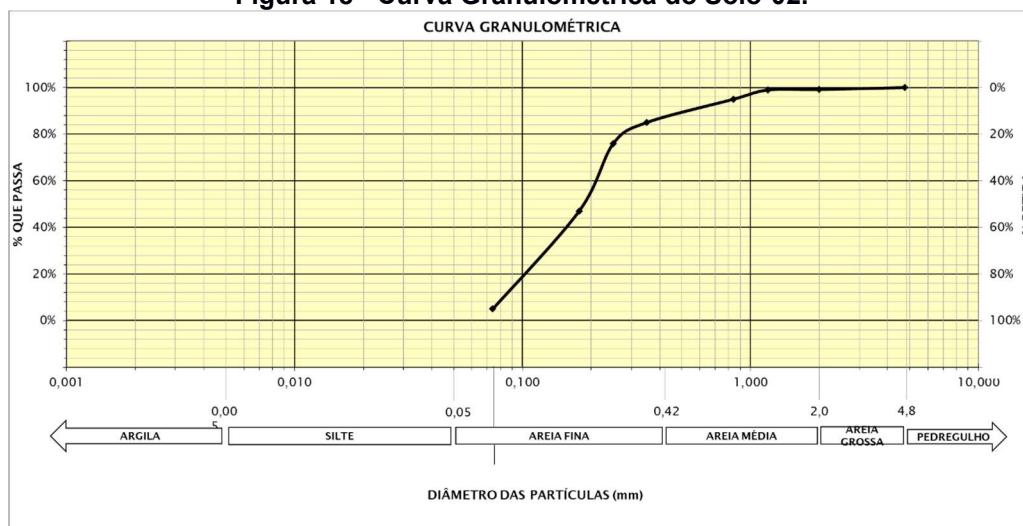
Conforme mostra a tabela 17 o Solo-01, classificado como massará, é composto essencialmente de areia média com a presença de menos de 1% de partículas finas, contrariando o recomendado pela NBR 10833:2012, que afirma que

o bom solo para confecção de solo-cimento deve possuir entre 10% e 50% de partículas finas.

Dessa forma, ressalta-se que o Solo-01, utilizado na Associação de Oleiros do Bairro Poty Velho, para confecção de um dos vários tipos de tijolos ecológicos fabricado pelos mesmos apresenta, necessariamente, baixa coesão, o que prejudica a retirada do tijolo do molde, diminuindo a resistência inicial dos mesmos. Portanto, para a utilização do Solo-01, recomenda-se a adição de argila.

Analogamente, a figura 18 representa o gráfico da curva granulométrica para o Solo-02. Analisando a figura é possível inferir que a grande porcentagem do solo possui dimensões de areia fina, contudo, esse solo apresenta um percentual de argila superior ao solo-01.

Figura 18 - Curva Granulométrica do Solo-02.



Com base na tabela 8 e no gráfico da figura 18, é possível extrair que o segundo tipo de solo analisado, solo-02, atendeu ao critério estabelecido pela NBR 10833/2012, quanto a porcentagem de material passante na peneira de malha 4,75mm, no entanto, a exemplo do solo -01, não atingiu a recomendação de ter entre 10% e 50% de material passante na peneira de nº 200.

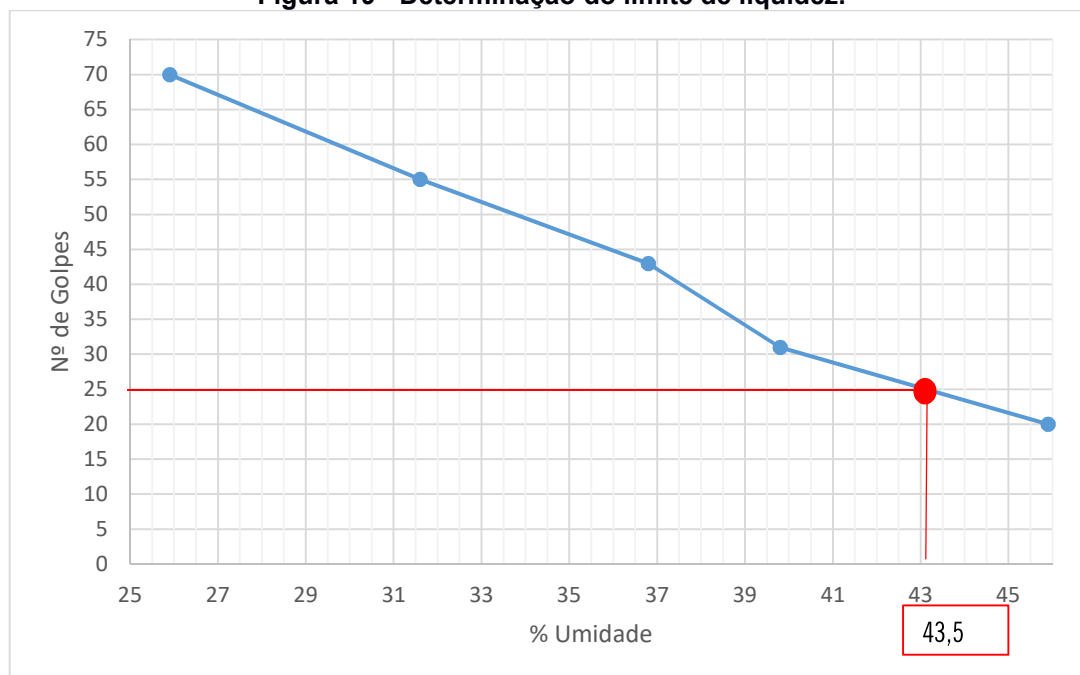
Em virtude do baixo teor de partículas finas do solo-01, não foi possível determinar os limites de Atterberg.

A tabela 9 e a figura 19 apresentam o resultado do ensaio do limite de liquidez para o solo-02:

Tabela 9 - Determinação da umidade dos pontos.

Pontos	Nº de Golpes	P.U (g)	P.S (g)	% Umidade
1º	70	2,82	2,24	25,9
2º	55	2,25	1,71	31,6
3º	43	1,86	1,36	36,8
4º	31	2,88	2,06	39,8
5º	20	1,62	1,11	45,9

Figura 19 - Determinação do limite de liquidez.



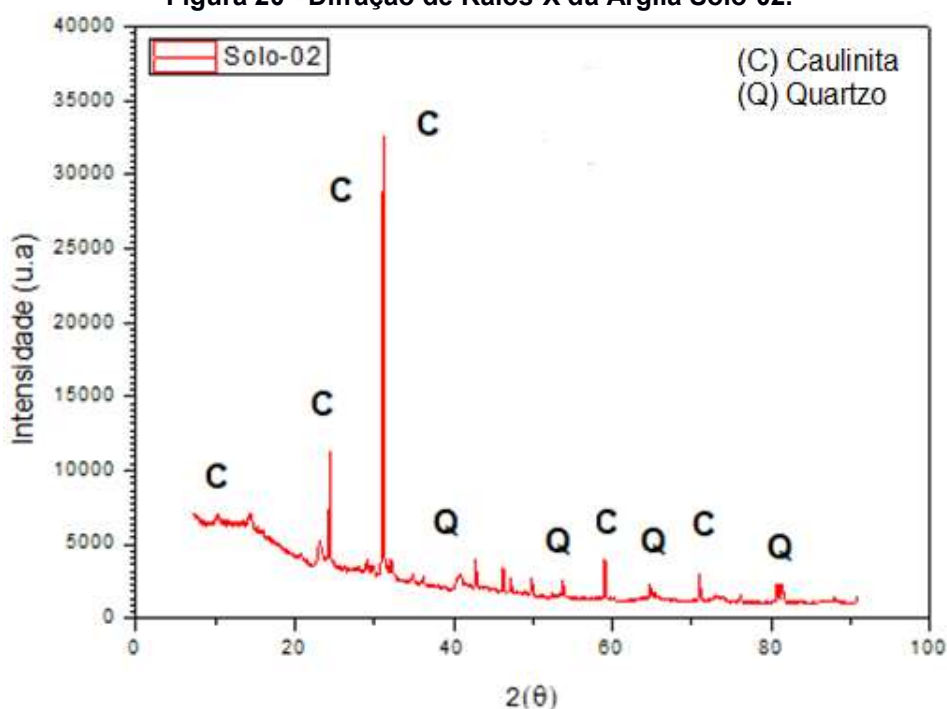
Como pode ser observado pelo gráfico da figura 19, o limite de liquidez do solo-02 corresponde a 43,5%, referente a umidade ao vigésimo quinto golpe. De acordo com a NBR 10833/2012, a amostra de solo ficou dentro do limite recomendado que é de igual ou inferior a 45%.

Para a determinação do limite de plasticidade, procedeu-se conforme exposto na metodologia. O resultado do limite de plasticidade do solo ficou em 26,5%. Dessa forma, o índice de plasticidade, que corresponde ao limite de liquidez subtraído do limite de plasticidade ficou em 17%, também, dentro dos limites recomendados pela norma, que é igual ou inferior a 18%.

Estes parâmetros estabelecidos pela norma para plasticidade do material argiloso são importantes pois garantem uma melhor eficiência de produção e qualidade dos tijolos fabricados com solo-cimento.

A figura 20 apresenta o difratometria de Raios-X, para o solo-02.

Figura 20 - Difração de Raios-X da Argila Solo-02.



Verificou-se no difratograma a presença dos picos referentes ao Quartzo (SiO_2) e a Caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), corroborando com o FRX, que identificou os óxidos de silício e alumínio no solo-02.

Dessa forma, pode-se inferir que a presença da caulinita fornece ao material uma característica de maior plasticidade, o que pode aumentar a resistência inicial dos tijolos, facilitando o desmolde da máquina de compressão. Já o quartzo, presente em materiais arenosos, pode atuar como material de enchimento, facilitador da moldagem e secagem dos tijolos, assim como contribui para melhoria das características tecnológicas do tijolo de solo-cimento, facilitando a saída da água utilizada na umidificação da massa por capilaridade além de facilitar o processo de exsudação dos corpos quando os mesmos são umidificados no processo de cura hídrica.

A tabela 10 apresenta a análise racional do solo-02:

Tabela 10 – Análise racional do Solo-02.

Fase Cristalina	Concentração (%)
Caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	73,00%
Quartzo (SiO_2)	27,00%

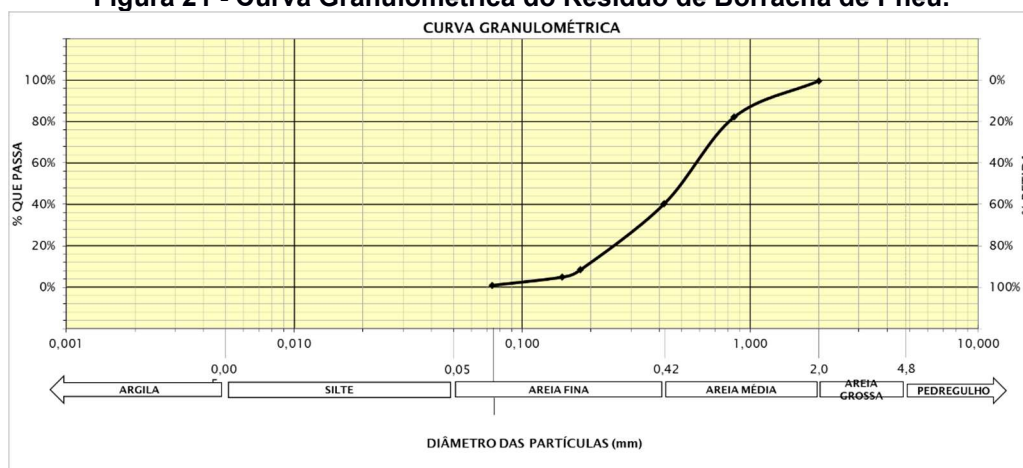
A análise racional demonstrou uma predominância da fase caulinita, confirmando o fato de que o solo-02 propicia uma maior plasticidade que confere aos tijolos de solo-cimento uma resistência após conformação e após secagem.

O resultado do ensaio granulométrico do resíduo é apresentado na tabela 11 e a figura 21:

Tabela 11 - Resumo Granulométrico do Resíduo de Borracha de Pneu.

Classificação	Teor retido (%)
Pedregulho (>4,8mm)	0,00
Areia Grossa (4,8 - 2,0mm)	0,37
Areia Média (2,0 - 0,42mm)	59,35
Areia Fina (0,42 - 0,074mm)	39,36
Silte+Argila (< 0,074mm)	0,92
Total	100,00

Figura 21 - Curva Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu.



Analisando a tabela 11 e o gráfico 21, é possível inferir que o resíduo de borracha de pneu apresenta um nível granulométrico próximo de areia média, similar ao observado no solo-01, logo estima-se que resíduo possa ser melhor aproveitado incorporado no solo-02, em virtude de a granulometria desse solo complementar a granulometria do resíduo proporcionando um melhor empacotamento na mistura.

A análise química do resíduo está representada pela tabela 12, que mostra os principais componentes encontrados no resíduo. Como pode ser observado, esse resíduo apresenta elevado percentual de silício, demonstrando que o resíduo tem características similares ao solo. O alto teor de zinco e enxofre se deve ao processo de fabricação do pneu, que utiliza essas duas substâncias para aumentar a resistência e a ductilidade do material.

De acordo com Bertollo; Fernandes Júnior; Schalch (2002) os valores de metais pesados encontrados no resíduo, são inferiores aos padrões de referência estabelecidos pela NBR 10004, classificando esse resíduo como sendo Classe II (não inerte). Assim, o resíduo em estudo pode ser utilizado como matéria-prima alternativa sem trazer nem um malefício a saúde durante a produção e aplicação.

Tabela 12 - Análise Química do Resíduo de Borracha de Pneu.

Componente	Concentração (%)
Zinco (Zn)	42,61
Enxofre (S)	25,61
Silício (Si)	21,37
Alumínio (Al)	4,52
Cálcio (Ca)	1,99
Ferro (Fe)	1,70
Potássio (K)	1,10
Cloro (Cl)	0,70
Fósforo (P)	0,25
Titânio (Ti)	0,15

5.2 ENSAIO DE ANÁLISE DIMENSIONAL DO LOTE 01

A tabela 13 apresenta os valores médios do ensaio de análise dimensional para as formulações aplicando o solo-01:

Tabela 13 - Dimensões médias para o corpo-de-prova fabricados com o solo-01.

Amostra	L	DP (L)	C	DP (C)	H	DP (H)	E
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
F0-1	126,20	0,18	250,93	0,06	83,97	0,51	68,20
F1-1	126,33	0,21	250,96	0,10	80,52	0,62	68,02
F2-1	126,04	0,27	250,88	0,06	82,08	0,50	68,23
F3-3	126,20	0,18	250,93	0,06	83,97	0,51	68,19
MÉDIA	126,19	0,21	250,93	0,07	82,64	0,54	68,16

Obs.: L = largura; C = comprimento, H = altura; e = Distância entre furos; DP = desvio padrão.

Como pode ser observado nas tabelas 13 em relação ao comprimento e a largura, todos os corpos-de-prova dos três tipos não apresentaram uma variação de 1 mm, nem para mais nem para menos, conforme preconiza a NBR 8491:2012. Entretanto, quanto à altura, os corpos-de-prova dos três tipos apresentaram uma leve variação, fugindo das prescrições normativas, indicando que devem ser adotadas

medidas para monitorar esse parâmetro, durante a fabricação do tijolo, como o controle automatizado da pressão de compactação.

5.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PARA O LOTE 01

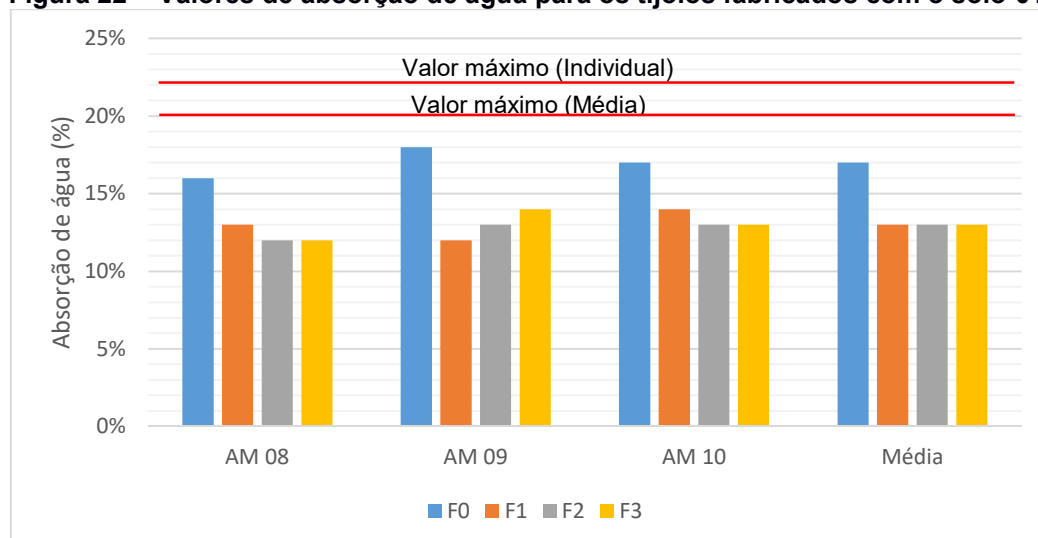
As tabelas 14 apresentam os valores do ensaio de absorção de água para os corpos-de-prova F0-1, F1-1, F2-1 e F3-1, fabricados com o solo-01.

Tabela 14 - Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-01.

Amostra	Peso Seco	Peso Saturado	Peso Água	% Absorção
	(g)	(g)	(g)	
F0-1	3623,10	4291,02	578,68	17%
F1-1	3647,04	4117,14	470,10	13%
F2-1	3719,40	4191,73	472,33	13%
F3-1	3754,65	4245,65	491,00	13%
Média				14%

Conforme mostram as tabelas 14, nenhuma das amostras excedeu os valores normatizados pela NBR 8491:2012, que estabelece que as médias dos valores de absorção de água não excedam 20% e nem que apresentem valores individuais maiores que 22%, conforme indica o gráfico da figura 22. É possível inferir ainda que, a adição do resíduo de borracha de pneu diminuiu a absorção de água do corpo dos tijolos, reduzindo, portanto, a porosidade dos mesmos.

Figura 22 - Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-01.



Na perspectiva de um melhor entendimento dos dados, conduziu-se a análise de variância (ANOVA) para o parâmetro absorção de água do solo 01. Os resultados da análise encontram-se na tabela 15.

Tabela 15 - Teste ANOVA para o parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-01.

		Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	Z	P
Peso Seco	Entre Grupos	33908,775	3	11302,925	1,117	0,398
	Nos grupos	80925,622	8	10115,703		
	Total	114834,397	11			
Peso Saturado	Entre Grupos	30445,832	3	10148,611	1,062	0,418
	Nos grupos	76447,283	8	9555,910		
	Total	106893,115	11			
Peso da Água	Entre Grupos	40697,227	3	13565,742	21,208	0,000*
	Nos grupos	5117,183	8	639,648		
	Total	45814,410	11			
Percentual de Absorção	Entre Grupos	0,004	3	0,001	15,300	0,001*
	Nos grupos	0,001	8	0,000		
	Total	0,004	11			

Conforme pode ser observado na tabela 15, para os tijolos fabricados com o solo-01, houve variação significativa entre os tratamentos para os parâmetros peso da água e absorção de água, visto que apresentaram valores de p inferiores a 0,05. Dessa maneira, para melhor compreensão da diferença entre os tratamentos procedeu-se a realização do teste de Tukey, para realizar as comparações múltiplas entre os tratamentos, como mostra a tabela 16.

Tabela 16- Teste de Tukey para o parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-01.

Peso da água		Percentual de absorção	
Tratamentos comparados	Valor de p	Tratamentos comparados	Valor de p
F0-1 – F1-1	0,001*	F0 – F1	0,003*
F0-1 – F2-1	0,001*	F0 – F2	0,002*
F0-1 – F3-1	0,002*	F0 – F3	0,003*
F1-1 – F2-1	1,000	F1 – F2	0,968
F1-1 – F3-1	0,747	F1 – F3	1,000
F2-1 – F3-1	0,803	F2 – F3	0,968

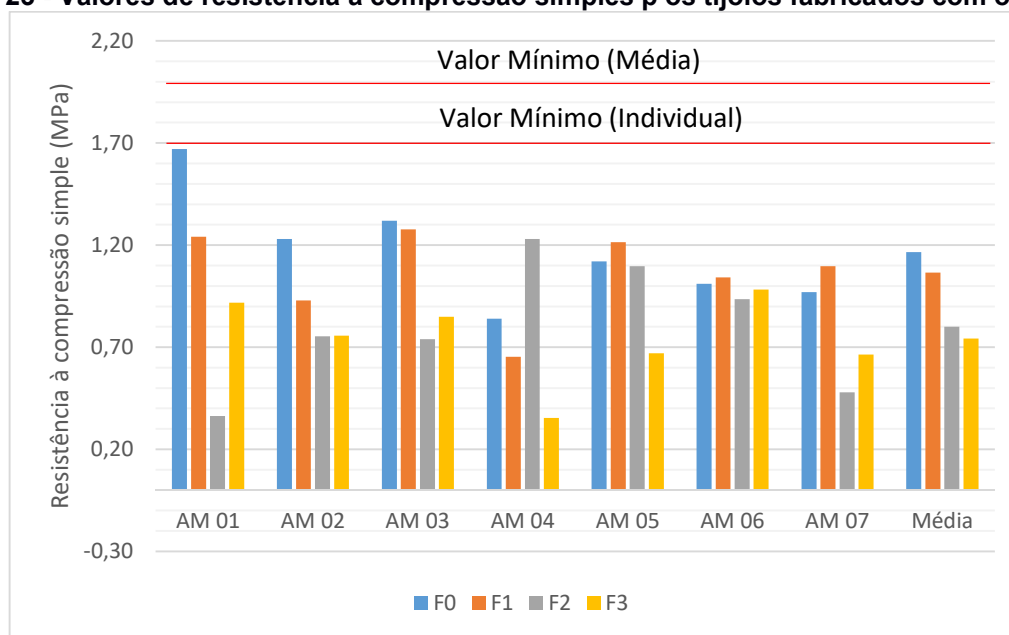
Verificou-se que houve diferença estatisticamente significativa entre o tratamento padrão e as formulações com resíduo de borracha de pneu a 0,55% (F1-1), 1,1% (F2-1) e 4,76% (F3-1) para os parâmetros peso da água e absorção ($p < 0,05$). No entanto, não houve diferença significativa para esses parâmetros entre as formulações F1-1, F2-1 e F3-1, ou seja, a adição do resíduo de pneu reduziu significativamente a absorção de água dos tijolos de solo-cimento, porém o aumento do teor de resíduo não influenciou nesse parâmetro.

5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA O LOTE 01

A tabela 17 e a figura 23 apresentam os valores médios de resistência à compressão e a deformação máxima dos corpos-de-prova.

Tabela 17 - Valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova confeccionados com o solo-01.

Amostra	F0-1		F1-1		F2-1		F3-1	
	Tensã o Máx	Def. Máx	Tensão Máx	Def. Máx	Tensão Máx	Def. Máx	Tensão Máx	Def. Máx
	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
AM 01	1,67	1,26	1,24	3,29	0,36	4,38	0,92	4,38
AM 02	1,23	2,43	0,93	3,43	0,75	4,28	0,76	4,45
AM 03	1,32	2,91	1,28	3,04	0,74	2,85	0,85	4,26
AM 04	0,84	2,67	0,65	2,23	1,23	3,00	0,35	5,10
AM 05	1,12	1,98	1,22	3,48	1,10	3,25	0,67	4,82
AM 06	1,01	1,94	1,04	2,79	0,94	2,64	0,98	4,65
AM 07	0,97	2,10	1,10	2,74	0,48	4,16	0,66	5,30
Média	1,17	2,18	1,06	3,00	0,80	3,51	0,74	4,71

Figura 23 - Valores de resistência à compressão simples p os tijolos fabricados com o solo-01.

Conforme, mostra a tabela 17 e a figura 23, nenhuma das amostras atingiu o valor de 2,0 Mpa, exigido pela NBR 8491:2012, demonstrando a fragilidade do material. Entretanto, acredita-se que alta concentração de silício do solo-01 pode ter contribuiu para diminuir a resistência inicial (após compactação) e também a resistência do produto final. Dessa forma, para aplicação desse solo, recomenda-se a mistura com outro material mais argiloso que proporcione uma massa que atenda aos parâmetros da norma.

Para analisar os dados de resistência à compressão simples e Deformação máxima, conduziu-se a análise de variância (ANOVA) para os respectivos parâmetros. Os resultados da análise encontram-se na tabela 18.

Tabela 18 - Teste ANOVA para o parâmetro resistência à compressão simples dos tijolos fabricados com o solo-01.

		Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	Z	P
Tensão Máxima	Entre Grupos	0,880	3	0,293	4,377	0,014*
	Nos grupos	1,609	24	0,067		
	Total	2,489	27			
Deformação Máxima	Entre Grupos	23,466	3	7,822	26,150	0,000*
	Nos grupos	7,179	24	0,299		
	Total	30,644	27			

Conforme pode ser observado na tabela 24, para os tijolos fabricados com o solo-01, houve variação significativa entre os tratamentos para os parâmetros resistência à compressão simples e deformação máxima ($p < 0,05$). Dessa forma, conduziu-se o teste de Tukey para comparar os tratamentos, como mostra a tabela 19.

Tabela 19 - Teste de Tukey para os parâmetros resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-01.

Tensão Máxima		Deformação Máxima	
Tratamentos comparados	Valor de p	Tratamentos comparados	Valor de p
F0-1 – F1-1	0,887	F0-1 – F1-1	0,047*
F0-1 – F2-1	0,064	F0-1 – F2-1	0,001*
F0-1 – F3-1	0,025*	F0-1 – F3-1	0,000*
F1-1 – F2-1	0,246	F1-1 – F2-1	0,326
F1-1 – F3-1	0,116	F1-1 – F3-1	0,000*
F2-1 – F3-1	0,974	F2-1 – F3-1	0,002*

Analisando a tabela 19 é possível inferir que para o parâmetro tensão máxima houve diferença estatisticamente significativa apenas entre a formulação padrão (F0-1) e a formulação com 4,76% de resíduo (F3-1), entre os demais tratamentos não houve significância. Já para o parâmetro deformação máxima houve diferença significativa entre a formulação padrão e todos os tratamentos com resíduo de pneu. Além disso, quando analisadas as formulações com resíduo de borracha de pneu, observou-se que os tratamentos F1-1 e F2-1 não são diferentes entre si, mas os tratamentos F1-1 e F3-1 e F2-1 e F3-1 apresentam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Dessa forma, percebe-se que o aumento da proporção de resíduo pode alterar a deformação máxima de forma crescente, atribuindo ao tijolo uma característica mais elástica do que o normal.

A tabela 20 apresenta os valores de desvio padrão para a resistência à compressão e deformação dos corpos-de-prova.

Tabela 20 - valores de desvio padrão para o parâmetro resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-01.

	Tratamento	Tensão Máxima	Deformação Máxima
F0	Média	1,1657	2,1843
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,27476	0,54555
F1	Média	1,0657	3,0000
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,22105	0,44826
F2	Média	0,8000	3,5086
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,31533	0,74078
F3	Média	0,7414	4,7086
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,21051	0,38620
Total	Média	0,9432	3,3504
	N	28	28
	Desvio Padrão	0,30361	1,06536

5.5 ENSAIO DE ANÁLISE DIMENSIONAL PARA O LOTE 02

O resultado do ensaio de análise dimensional pode ser observado na tabela 21, que apresentam os valores de largura, comprimento, altura, distância entre furos e desvios-padrão para a formulação F0-2, F1-2, F2-2 e F3-2, respectivamente.

Tabela 21 - Dimensões médias para o corpo-de-prova fabricados com o solo-02.

Amostra	L	DP (L)	C	DP (C)	H	DP (H)	E
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
F0-2	125,80	0,29	249,10	0,21	67,46	1,46	66,16
F1-2	125,22	0,34	248,70	0,10	66,69	0,13	65,80
F2-2	125,33	0,29	249,29	0,58	69,00	0,93	65,80
F3-2	125,12	0,35	248,95	0,59	69,10	0,86	66,00
MÉDIA	125,37	0,32	249,01	0,37	68,06	0,85	65,94

Obs.: L = largura; C = comprimento, H = altura; e = Distância entre furos; DP = desvio padrão.

Como pode ser observado nas tabelas 21 nenhuma das amostras de nenhuma das formulações apresentou variações significativas, maiores que 1 mm, para os valores de largura (L), comprimento (C) e espaço entre furos (e). No entanto, com exceção da formulação sem adição de resíduo e com adição de 3%, observa-se uma leve variação entre as alturas dos tijolos, maiores que 1 mm, o que pode ser justificada pela deficiência no controle da compactação dos mesmos.

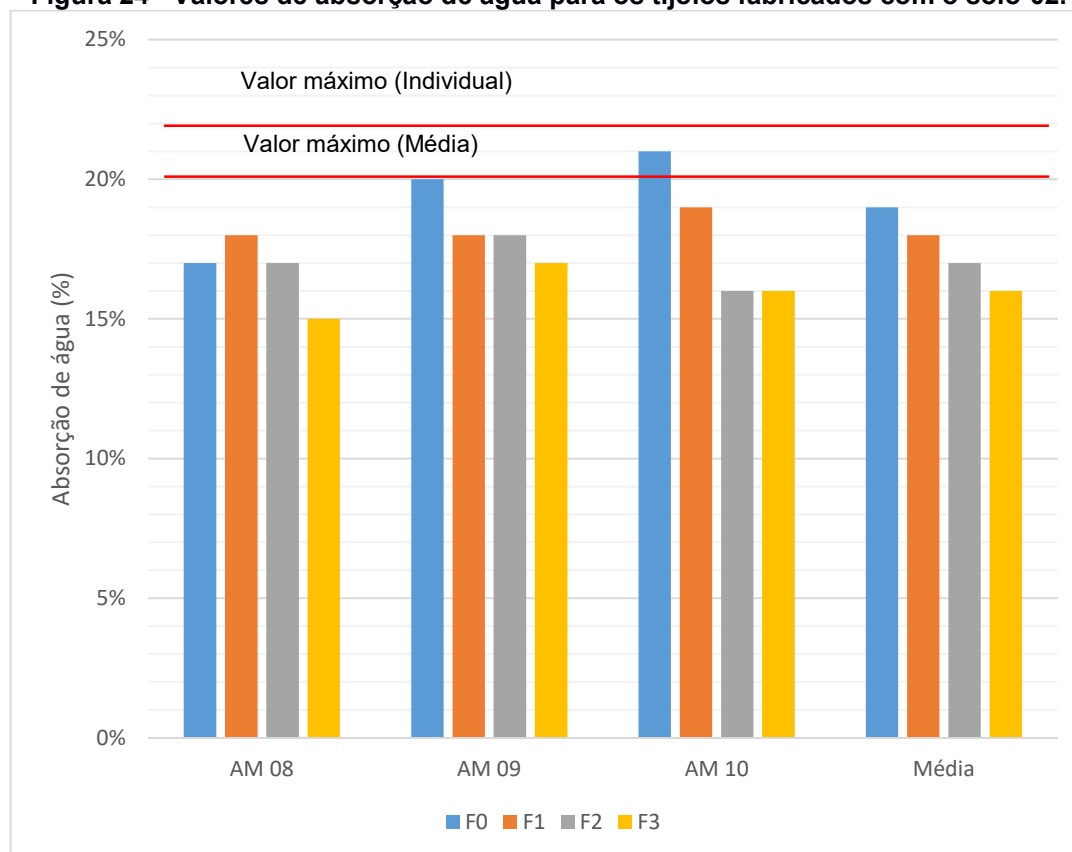
5.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PARA O LOTE 02

O teste de absorção de água é apresentado nas tabelas 22, que demonstram os valores para as formulações F0-2, F1-2, F2-2 e F3-2. Analogamente, a figura 24 apresenta um gráfico com os valores de absorção de água, relacionando aos limites máximos.

Tabela 22 - Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-01.

Amostra	Peso Seco	Peso Saturado	Peso Água	% Absorção
	(g)	(g)	(g)	
F0-2	2365,67	2822,00	456,33	19%
F1-2	2304,00	2727,33	423,33	18%
F2-2	2306,00	2693,00	387,00	17%
F3-2	2423,33	2806,00	382,67	16%
Média				18%

Figura 24 - Valores de absorção de água para os tijolos fabricados com o solo-02.



Como pode ser observado nenhuma das amostras apresentou valores individuais superiores a 22%, conforme sugere a norma, bem com nenhum dos valores médios, para nenhuma das formulações ultrapassou o limite máximo de 20%.

Para avaliar a variância do parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-02, utilizou-se a análise de variância (ANOVA), o resultado pode ser observado na tabela 23.

Tabela 23 - Teste ANOVA para o parâmetro absorção de água dos tijolos fabricados com o solo-02.

		Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	Z	P
Peso Seco	Entre Grupos	29024,917	3	9674,972	1,869	0,213
	Nos grupos	41413,333	8	5176,667		
	Total	70438,250	11			
Peso Saturado	Entre Grupos	34496,250	3	11498,750	1,109	0,401
	Nos grupos	82942,667	8	10367,833		
	Total	117438,917	11			
Peso da Água	Entre Grupos	10736,667	3	3578,889	2,794	0,109
	Nos grupos	10246,000	8	1280,750		
	Total	20982,667	11			
Percentual de Absorção	Entre Grupos	0,002	3	0,001	3,867	0,056
	Nos grupos	0,001	8	0,000		
	Total	0,003	11			

Como pode ser visto na tabela 36, aparentemente, nenhum dos parâmetros analisados apresentou variância estatística significativa ($p < 0,05$). Entretanto, foi possível observar que a adição de resíduo diminuiu, gradativamente, a absorção de água, possivelmente, em virtude da granulometria do resíduo e do solo-02, que combinaram de forma a diminuir os espaços vazios na massa, contribuindo para a redução da absorção de água. Dessa forma, uma possível justificativa para o resultado apresentado na tabela 35 diz respeito ao número amostral reduzido, visto que os valores de p apresentaram uma tendência à significância em particular no parâmetro percentual de absorção.

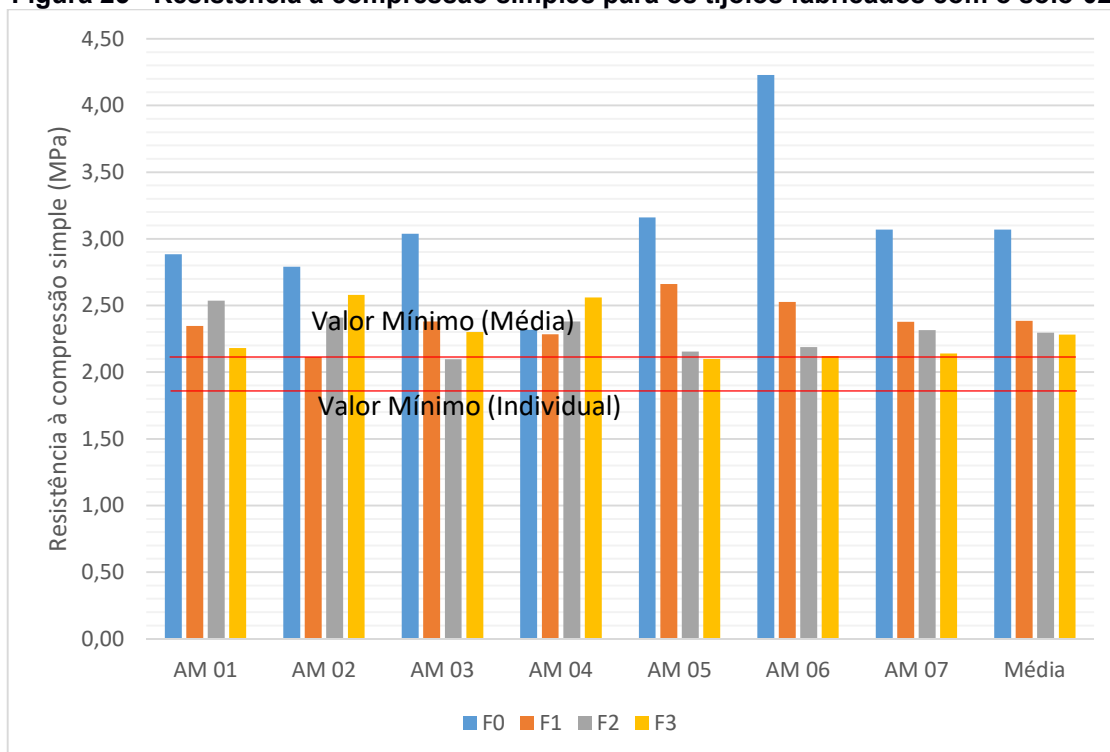
5.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA O LOTE 02

Os valores de resistência à compressão simples e de deformação máxima apresentados pelos corpos-de-prova, podem ser observados na tabela 24. A figura 25 apresenta graficamente os valores de compressão das amostras e das médias, comparando-as com os valores limites. Já a figura 26 demonstra um gráfico de dispersão dos valores médios de deformação máxima para os tijolos fabricados com o solo-02.

Tabela 24 - Valores de resistência à compressão simples e deformação máxima dos corpos-de-prova confeccionados com o solo-02.

Amostr a	F0		F1		F2		F3	
	Tensão	Def.	Tensão	Def.	Tensão	Def.	Tensã	Def.
	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	o Máx	Máx
	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
AM 01	2,89	2,71	2,35	2,92	2,54	9,89	2,18	10,38
AM 02	2,79	2,16	2,11	2,15	2,41	10,10	2,58	14,10
AM 03	3,04	1,87	2,38	3,09	2,10	9,78	2,30	13,73
AM 04	2,32	5,56	2,28	3,86	2,38	9,52	2,56	11,03
AM 05	3,16	1,62	2,66	2,56	2,15	10,78	2,10	13,83
AM 06	4,23	2,54	2,53	3,29	2,19	12,03	2,12	12,06
AM 07	3,07	2,74	2,38	3,59	2,32	10,18	2,14	9,52
Média	3,07	2,74	2,38	3,07	2,30	10,32	2,28	12,09

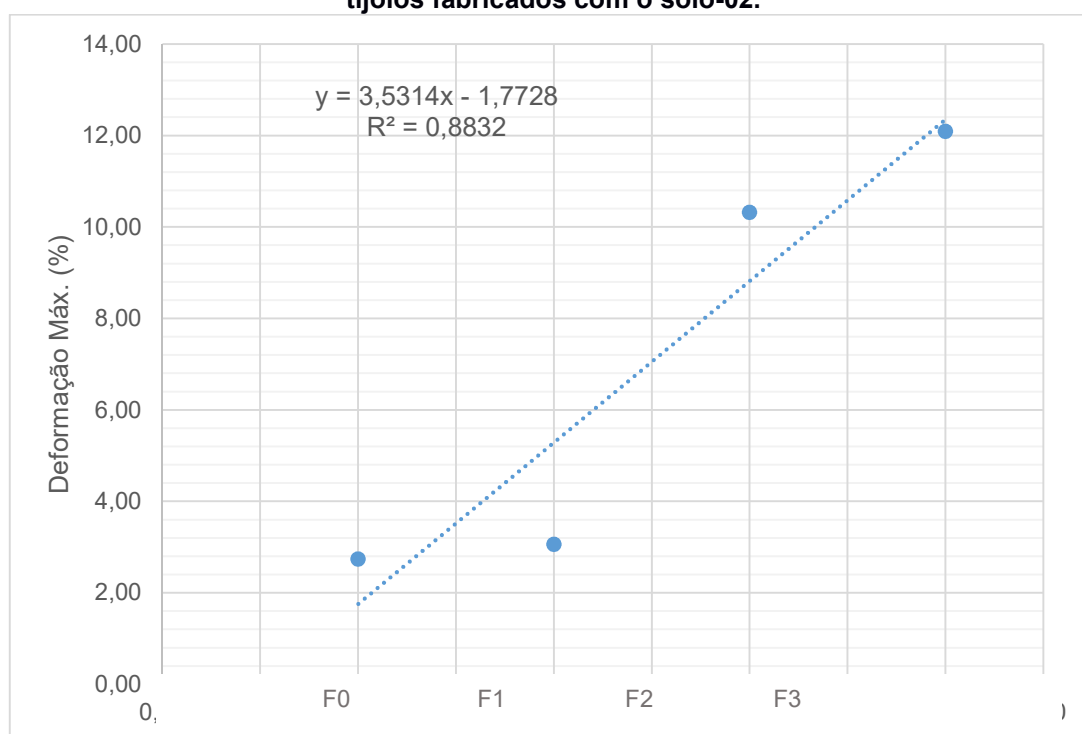
Figura 25 - Resistência à compressão simples para os tijolos fabricados com o solo-02.



De acordo com a tabela 24 e a figura 25, é possível inferir que todas as amostras ficaram acima do valor individual de 1,7 MPa exigido por norma, bem como os valores médios acima do valor de 2,0Mpa, sugerindo que em relação a matéria prima, solo, utilizada na fabricação dos tijolos, aquela que apresentou maiores valores de finos possui uma resistência à compressão simples superior.

A figura 26 apresenta o gráfico de dispersão dos valores de deformação máxima para os tijolos confeccionados com o solo-02.

Figura 26 - Gráfico de dispersão representando os valores de deformação máxima para os tijolos fabricados com o solo-02.



Analisando o gráfico da figura 26, é possível notar que o aumento do percentual de resíduo de pneu elevou, consideravelmente, os valores de deformação dos tijolos, deixando-os com um comportamento menos frágil, provavelmente, por conta das propriedades elásticas da borracha.

A tabela 25 apresenta o teste ANOVA para o parâmetro resistência e deformação máxima para os tijolos confeccionados com o solo-02.

Tabela 25 - Teste ANOVA para o parâmetro resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-02.

		Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	Z	P
Tensão Máxima	Entre Grupos	2,991	3	0,997	9,134	0,000*
	Nos grupos	2,620	24	0,109		
	Total	5,611	27			
Deformação Máxima	Entre Grupos	494,106	3	164,702	106,420	0,000*
	Nos grupos	37,144	24	1,548		
	Total	531,250	27			

De acordo com o teste ANOVA, apresentado na tabela 38, para os tijolos fabricados com o solo-02, houve uma variação estatística significativa para os dois parâmetros analisados, resistência à compressão simples e absorção de água. Dessa maneira, procedeu-se a realização do teste de Tukey para comparar os tratamentos, conforme mostra a tabela 26.

Tabela 26 - Teste de Tukey para os parâmetros resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-02.

Tensão Máxima		Deformação Máxima	
Tratamentos comparados	Valor de p	Tratamentos comparados	Valor de p
F0-2 – F1-2	0,004*	F0-2 – F1-2	0,962
F0-2 – F2-2	0,001*	F0-2 – F2-2	0,000*
F0-2 – F3-2	0,001*	F0-2 – F3-2	0,000*
F1-2 – F2-2	0,962	F1-2 – F2-2	0,000*
F1-2 – F3-2	0,939	F1-2 – F3-2	0,000*
F2-2 – F3-2	1,000	F2-2 – F3-2	0,062

Analisando a tabela 26 é possível concluir que para os parâmetros tensão máxima houve diferença estatística significativa entre a formulação padrão (F0-2) e as formulações com adição de resíduo (F1-2, F2-2 e F3-2), entretanto, verificou-se que não houve variação significativa entre os tratamentos com adição de resíduo. Já para o parâmetro deformação máxima constatou-se que não houve variância entre a formulação padrão (F0-2) e a formulação com adição de 3% de resíduo (F1-2) nem entre a formulação com adição de 6% de resíduo (F2-2) e a formulação com 9% de resíduo (F3-2). Ratificando, que a adição de borracha de pneu pode ter influenciado

negativamente na resistência à compressão simples, porém o aumento do percentual de resíduo não variou significativamente a resistência do material. Pode-se afirmar, ainda, que a adição de borracha permitiu que o tijolo apresentasse maiores valores de elasticidade.

A tabela 27 apresenta os valores de desvio padrão para a resistência à compressão e deformação dos corpos-de-prova.

Tabela 27 - Valores de desvio padrão para o parâmetro resistência à compressão simples e deformação máxima dos tijolos fabricados com o solo-02.

Tratamento		Tensão Máxima	Deformação Máxima
F0-2	Média	3,0714	2,7429
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,58136	1,31282
F1-2	Média	2,3843	3,0657
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,17539	0,58767
F2-2	Média	2,2986	10,3257
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,15869	0,84853
F3-2	Média	2,2829	12,0929
	N	7	7
	Desvio Padrão	0,20670	1,84439
Total	Média	2,5093	7,0568
	N	28	28
	Desvio Padrão	0,45587	4,43575

5.8 ENSAIO DE CONFORTO TÉRMICO

Em relação ao ensaio para aferição do conforto térmico, a tabela 41 e a tabela 42, apresentam, respectivamente, os valores obtidos para o modelo construído sem adição de resíduo e com adição de resíduo.

Sobre as tabelas 28 e 29 é possível inferir que durante o turno da manhã o modelo construído com resíduo de borracha, em geral, manteve a temperatura mais elevada, ao passo que nos turnos tarde e noite apresentou temperaturas mais amenas do que o modelo construído sem resíduo. Acredita-se que a borracha presente no resíduo possa ter contribuído para manter os valores de temperatura mais estáveis, por ser um isolante térmico sintético.

Tabela 28 - Temperaturas em °C para o modelo construído com tijolos de solo-cimento sem adição de resíduo de borracha de pneu.

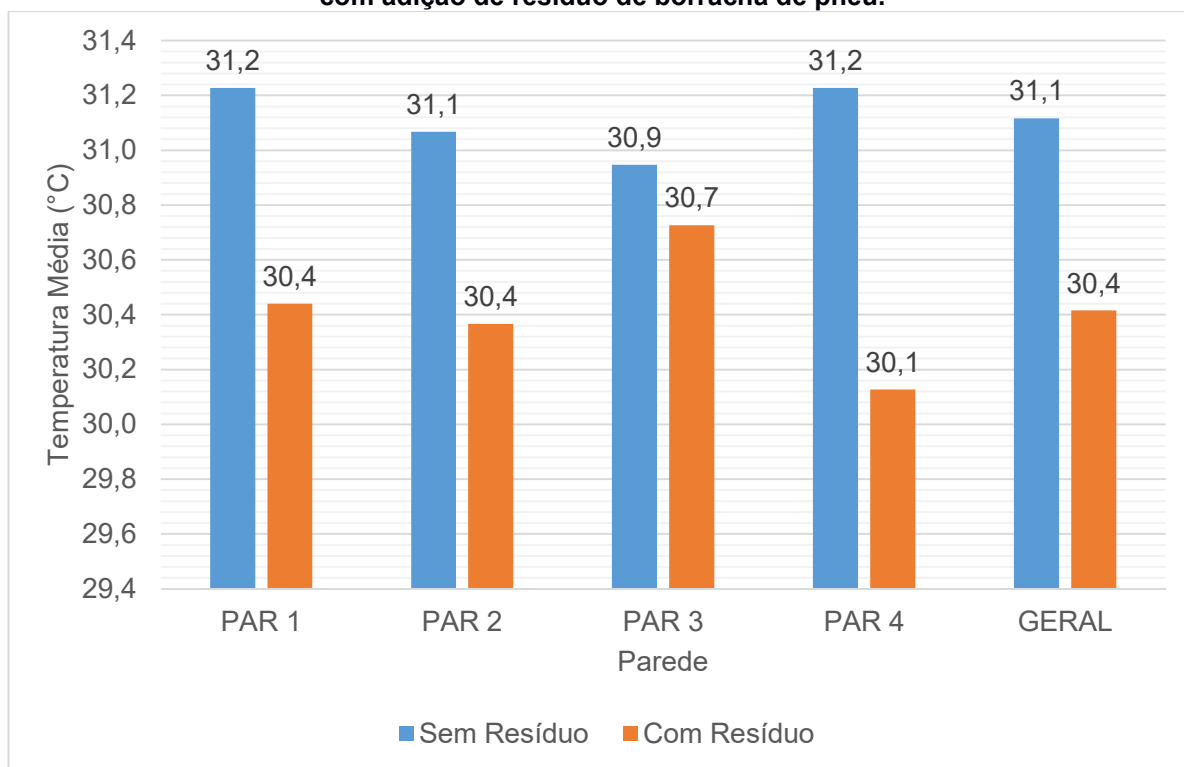
TIJOLO DE SOLO-CIMENTO SEM ADIÇÃO DE RESÍDUO												
Dia	07:00				12:00				18:00			
	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4
1	25,2	24,7	24,5	25,8	32,0	31,8	31,0	32,4	32,4	32,8	34,3	33,1
2	26,5	25,6	25,2	25,9	31,5	31,1	30,0	30,2	34,7	34,4	34,9	34,5
3	26,3	25,7	25,9	26,5	34,1	33,0	32,4	35,3	34,5	35,0	35,1	34,7
4	26,2	26,4	25,9	25,8	34,1	35,0	33,4	33,5	34,3	34,9	34,7	34,6
5	27,4	27,5	27,6	27,3	35,4	34,6	35,3	34,7	33,8	33,5	34,0	34,1
Variação	0,617	1,087	1,327	0,423	2,637	2,89	4,282	4,097	0,853	0,897	0,200	0,43
Média	26,3	26,0	25,8	26,3	33,4	33,1	32,4	33,2	33,9	34,1	34,6	34,2

Tabela 29 - Temperaturas em °C para o modelo construído com tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de borracha de pneu.

TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO												
Dia	07:00				12:00				18:00			
	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4
1	24,6	25,4	25,1	24,8	31,0	31,0	31,0	29,6	32,2	31,9	33,5	31,9
2	26,3	26,0	26,3	26,1	29,1	29,0	30,0	28,7	34,7	34,4	34,6	34,1
3	26,4	25,9	26,5	26,8	32,7	32,1	32,2	31,3	33,9	34,5	34,9	33,6
4	26,2	26,1	26,5	25,8	31,5	31,6	32,2	32,1	34,0	34,7	34,0	33,8
5	27,2	27,4	27,9	27,5	33,7	32,5	32,7	32,6	33,1	33,0	33,5	33,2
Variação	0,898	0,553	0,988	1,045	3,060	1,883	1,212	2,753	0,917	1,465	0,405	0,737
Média	26,1	26,2	26,5	26,2	31,6	31,2	31,6	30,9	33,6	33,7	34,1	33,3

A figura 27 demonstra um gráfico com os valores de temperatura média por parede comparando os modelos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.

Figura 27 - Comparação da temperatura média por parede, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.

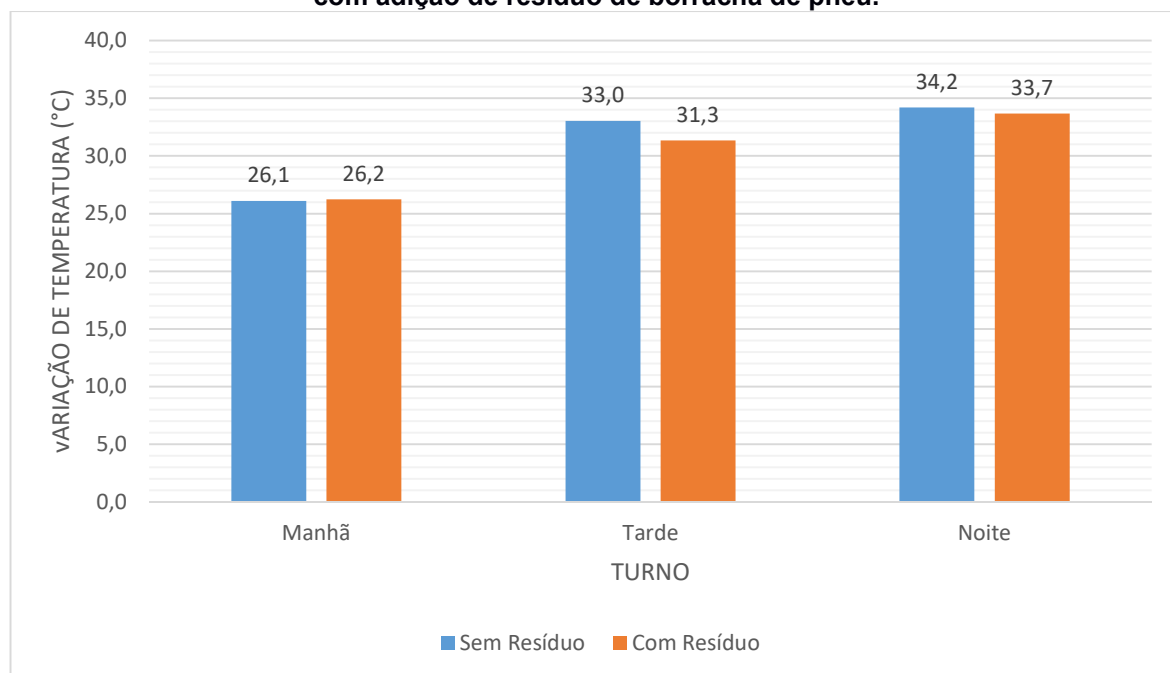


Como pode ser observado na figura 27 o modelo construído com tijolos com adição de resíduo de borracha de pneu apresentou valores médios bem inferiores aos demonstrado pelo modelo construído sem o resíduo. De maneira geral, a adição da borracha no tijolo aumentou a eficiência térmica da casa modelo, apresentando, no geral, um valor quase 1°C inferior ao modelo sem resíduo.

A figura 28 apresenta um gráfico com os valores médios de temperatura por turno.

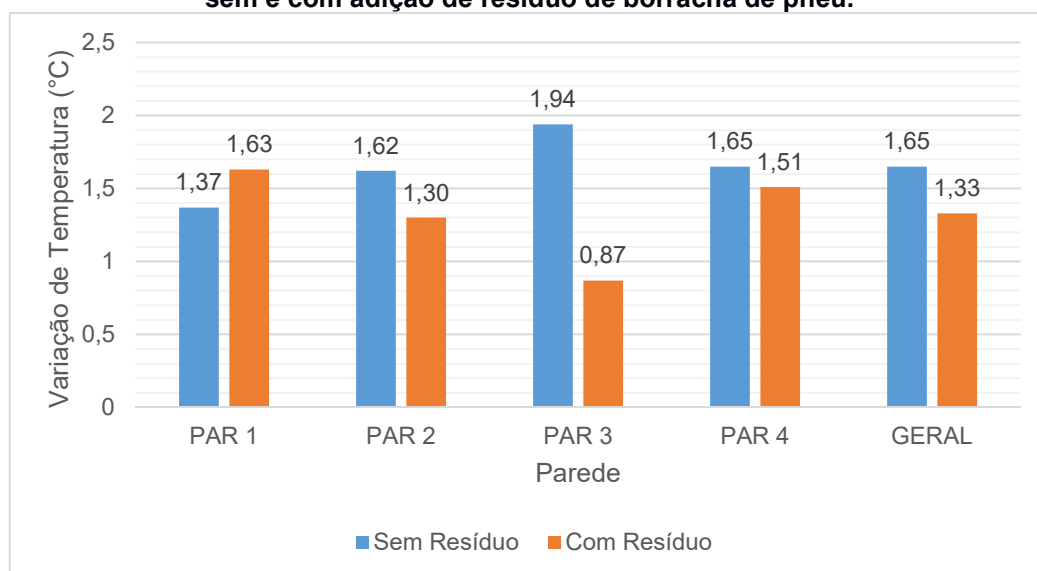
Como pode ser observado na figura 28, com exceção do turno manhã, no qual o modelo construído com resíduo de borracha apresentou um valor médio 0,1 °C superior, nos turnos tarde e noite houve uma redução significativa na temperatura, da ordem de 1,7 °C e 0,5 °C, respectivamente.

Figura 28 - Comparação da temperatura média por turno, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.



A figura 29 apresenta a variação da aferição nas temperaturas por parede, comparando o modelo construído sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.

Figura 29 – Variação média da temperatura média por parede, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.

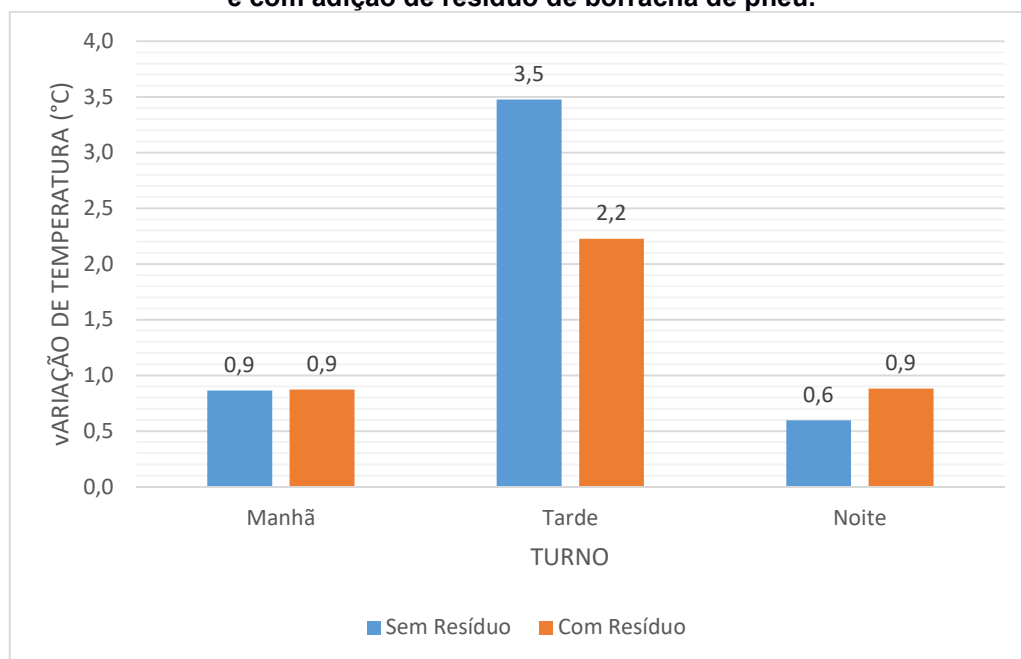


Como pode ser observado na figura 29, de modo geral a variação na aferição das temperaturas por parede foi menor no modelo construído com resíduo de

borracha de pneu, indicando que a presença da borracha possa ter funcionado como isolante térmico, mantendo a temperatura interna por mais tempo.

A figura 30 apresenta um gráfico indicando a variação da temperatura durante os turnos:

Figura 30 - Variação média da temperatura média por turno, para os modelos construídos sem e com adição de resíduo de borracha de pneu.



Analisando o gráfico da figura 30 é possível perceber que a variação de temperatura ao longo dos dias no período da tarde para o modelo construído com tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de borracha de pneu foi cerca 1,3°C menor do que o modelo sem adição do resíduo, ratificando que a borracha do resíduo esteja funcionando como isolante térmico, especialmente, nos períodos de valores de temperatura mais elevados.

6 CONCLUSÕES

- Os resultados desse estudo demonstraram que o solo é um fator preponderante na fabricação do tijolo de solo-cimento;
- O solo arenoso aceita uma porcentagem menor de resíduo do que o solo com maior presença de finos, em virtude da distribuição granulométrica;
- Mesmo para o solo com maior presença de finos a adição de porcentagens de resíduo de borracha de pneu maiores do que 9% diminuem consideravelmente a resistência inicial do material, prejudicando a remoção dos tijolos do molde da prensa;
- Quanto a análise dimensional dos tijolos, conclui-se que as dimensões referentes a largura e comprimento não apresentaram diferença da ordem de mais de 1 mm. No entanto, a dimensão altura dos tijolos teve alguns resultados insatisfatórios, em virtude da deficiência no controle da compactação, especialmente quanto a pressão aplicada na alavanca. Dessa forma, para garantir melhores resultados recomenda-se o controle da pressão ou utilização de uma máquina automática;
- Em relação a absorção de água, os resultados demonstraram que para os dois tipos de solos a adição de resíduo de pneu influenciou significativamente, para a diminuição da absorção, ou seja, contribuindo para a redução dos vazios, em especial para o solo com granulometria mais fina, conforme a NBR 8492/2012;
- Para a resistência a compressão simples observou-se que um solo com pouca presença de finos diminui, consideravelmente, a resistência inicial, dificultando o desmolde do tijolo;
- A adição de resíduo de borracha de pneu proporcionou uma leve redução na resistência à compressão simples dos tijolos, em relação aos sem adição de resíduo;
- Estatisticamente, o aumento na concentração de resíduo de borracha de pneu não influenciou, significativamente, na resistência dos tijolos, embora tenha-se notado uma diminuição gradativa na resistência com a elevação da porcentagem de resíduo;
- No que diz respeito a deformação máxima, foi possível notar, estatisticamente, que o aumento na concentração de resíduo de borracha de pneu elevou,

consideravelmente, a deformação dos tijolos, conferindo-os uma característica mais elástica do que o normal;

- No ensaio de aferição das temperaturas foi possível notar que a borracha presente no resíduo de pneu funcionou como isolante térmico, diminuindo a temperatura e a sua variação ao longo do dia;
- Conclui-se, portanto, que para a fabricação dos tijolos de solo-cimento, para qualquer adição de resíduo, recomenda-se a utilização de um solo mais argiloso, com teores de argila entre 10% e 25%, bem como um controle mais eficaz na pressão de compactação utilizada para moldar os tijolos;
- Ressalta-se ainda, que o tijolo de solo-cimento com adição de resíduo de borracha de pneu, constitui uma alternativa viável técnica e economicamente para auxiliar na redução do déficit habitacional no Brasil e, em especial, na região Nordeste, por possuir um clima propício para esse método construtivo. Além disso, vale lembrar que, a utilização desse resíduo é mais uma alternativa para diminuir a problemática do prejuízo ambiental, ocasionado pelo descarte inadequado do mesmo.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais: prática recomendada**. Publicação ABCP, São Paulo, 1985.

ACCHAR, Wilson. **Materiais Cerâmicos: Caracterização e Aplicações**. Natal – RN: EDUFRN - Editora da UFRN, 2006.

ANJOS, M. A. S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. Parte I: Determinação do teor de reforço ótimo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.339-345, 2003.

ARAÚJO, N. C. et al. (2015). Propriedades mecânicas de tijolos fabricados com solo e água residuária de mandioca. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 10, n.2, p. 213 – 217, 2015.

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

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

_____. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012c.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**, 1. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC 2008.

_____. **Materiais de Construção**, 2. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC 2013.

BERTOLLO, S.M.; FERNANDES JÚNIOR, J. L; SCHALCH, V. Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Cancún, Mexico: 2002

BORGES, F.H; TACHIBANA, W.K. A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente dos negócios: uma abordagem histórica. In: **XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção**. Porto Alegre, RS: ABEPRO, p. 5235-5242, 2005.

BRAVO, R. S. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2014.

CARRARO, N. C.; RIZZO, R.; KAWAMURA, R. B.; DOS SANTOS F. R. T.; DE OLIVEIRA; M. B. B. Formação de Preço de Locação de Imóveis Residenciais no Município de Três Lagoas/MS: Análise de Mercado. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v.1, n.2, p.3-21, 2016.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2008.

DA ROSA, N. SOUZA, L. C. BILIBIO, J. R. **Tijolo Ecológico: Reaproveitando a Borracha de Pneus e Resíduos da Construção Civil**. Relatório Técnico. Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica, 2016.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. **Estudo da Aplicação de Resíduo de Argamassa de Cimento nas Propriedades de Tijolos de Solo-Cimento**. Ilha Solteira-SP, 2004.

FERREIRA, E. M.; CRUVINEL, K. A. S.; COSTA, E. S. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do município de Santo Antônio de Goiás. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, n.3, p.3401-3411, 2014.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa**. Dissertação (Mestrado), São Carlos: EESC-USP, 165p. 2003.

KUNDU, S.; ROY, S. D. Urbanisation and de-sanitation: a de-compositional analysis by taking a case study of few Indian cities 2012. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.37, p.427-436, 2012.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Reciclagem de pneus: discussão do impacto da política brasileira. **Engevista**, v.11, n.1. p.32-49, 2009.

LIMA, R. C. O.; NEVES, G. A.; CARVALHO, J. B. Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 5, p. 24-31, 2010.

LLAJARUNA, V. **Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira-SP, 2016.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP, 2002.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu**. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2005.

MENDES, R.; ZANOTTI, R. A. R.; MENEZES. Produção de Solo-Cimento (Tijolo Ecológico) Utilizando Resíduo do Polimento de Grés de Porcelanato como Fonte de Sílica. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 1, n. 1, p 50-55, 2014.

MOTA, J. D. et al. Aproveitamento dos Resíduos de Granito e Caulim como Materiais Aditivos na Produção de Tijolos Ecológicos. In: **Anais do IV CNNQ/II ENNEQ**, Natal, RN: UFRN, 2011.

MOTTA, F. G. A cadeia de destinação dos pneus inservíveis—o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico. **Ambiente & sociedade**, v.11, n.1, p.167-184, 2008.

MOURA, L. C. P. **Utilização da Raspa de Pneus como Agregado na Produção de Blocos de Concreto para Pavimento em Teresina-PI**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Centro Universitário Uninovafapi. Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Teresina – PI 97p, 2017.

OLIVEIRA, J. R.; AMARAL, A. G.; SCHNEIDER, R. M. Incorporação de Resíduos Sólidos de Tornearias Mecânicas na Fabricação de Tijolos Solo-Cimento. **Nativa, Sinop**, v. 02, n. 01, p. 53-57, 2014.

PEREIRA, A. M.; FAZZAN, J. V.; DE 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. 03, n. 20, 2015, pp. 53-65, 2015.

POURRE, O. V. **O destino dos pneus descartados: leis vigentes e tecnologias utilizadas no Brasil**. 2016. 71 f. [Trabalho de Conclusão de Curso-Bacharelado em Economia]. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ, 2016.

SEGANTINI, A. A. da S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP**. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI, Departamento de Construções Rurais, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas-São Paulo, 176p, 2000.

SIQUEIRA, E.; DO AMARAL, A. G.; SCHNEIDER, R. M.; ATOATTI, C. Características mecânicas de tijolos ecológicos com incorporação de resíduo. **Nativa, Sinop**, v.4, n.3, p.170-174, 2016.

SILVA P. F. F.; SOARES, R. A. L. Análise quantitativa de fases em matérias-primas cerâmicas: desenvolvimento e validação de software com programação em MatLab

adequado ao método de análise racional UFSC. 1ª Ed. . Rio Grande: Pluscom Editora, 2016.

SOARES, R. A. L. **Influência do teor de calcário no comportamento físico, mecânico e microestrutural de cerâmicas estruturais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, 100p, 2008.

SOUZA, L. A. D. S.; FIGUEREDO, G. L. A. S.; SANTOS, E. J.; MOLINA, M.; BRITO, R. R. A destinação de pneus inservíveis numa transportadora da região norte do estado do tocantins. **Facit Business and Technology Journal**, v. 1, n. 1, 2017.

STUART, B. H. **Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications**. Chichester: Wiley, 2004.

TEIXEIRA, J. C.; OLIVEIRA, G. S.; VIALI, A. M.; MUNIZ, S. S. Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. **Eng Sanit Ambient.**, v.19, n.1, p.87-96, 2014.

VIEIRA, A.; CECHINEL, B.; DEGHEHARD, C.; MAGNUS, D.; HOLTHAUSEN, R.; TASSI, R.; MODESTO, C.; De NONI JR, A.; CARGNIN, M. Estudo do Processo de Obtenção e Caracterização de Tijolos Solo-Cimento. **Cerâmica Industrial**, v.12, n.6, p.47-50, 2007.