

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ALYSSON CARLOS LIDOVINO
MARIA VERÔNICA PAULA DA SILVA**

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO
SOLO-CIMENTO**

**CARATINGA
2019**

**ALYSSON CARLOS LIDOVINO
MARIA VERÔNICA PAULA DA SILVA**

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO
SOLO-CIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
das Faculdades Doctum de Caratinga,
como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Sustentabilidade

Orientador: Prof. Claudemir Máximo de
Sousa

CARATINGA

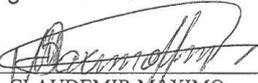
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ADIÇÃO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO, elaborado pelo(s) aluno(s) ALYSSON CARLOS LIDOVINO e MARIA VERÔNICA PAULA DA SILVA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 08/07/2019



CLAUDEMIR MÁXIMO
Prof. Orientador



JOÃO MOREIRA
Prof. Avaliador 1



JOSÉ NELSON
Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que tem demonstrado seu grande amor, através de suas bênçãos maravilhosas nesta longa caminhada ao longo deste trabalho.

Agradeço ao professor Claudemir, e todos nossos professores que contribuíram para que pudéssemos alcançar nossos objetivos.

Aos nossos pais, e irmãos que sempre nos incentivaram e apoiaram para que atingíssemos esta meta em nossas vidas, bem como pela educação moral, e aqueles que nos proporcionaram a alegria.

Aos familiares e amigos, que contribuíram de forma direta e indireta ao longo desta jornada.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|--------|--|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| BNH | Banco Nacional de Habitação |
| BTC | Bloco de Terra Comprimida |
| CEPED | Centro de Pesquisas e Desenvolvimento |
| CIB | Conselho Internacional da Construção |
| CP | Cimento Portland |
| FUNTAC | Fundação de Tecnologia do Estado do Acre |
| mm | Milímetro |
| IEP | Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista |
| IPT | Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Composição do tijolo solo-cimento..... | 19 |
| Figura 2 - Limites de Atterberg dos solos | 25 |
| Figura 3 - Caçamba com resíduo descartado..... | 26 |
| Figura 4 - Teste de umidade | 27 |
| Figura 5 - Prensa manual para fabricação de tijolo solo-cimento | 28 |
| Figura 6 - Material sendo misturado | 30 |
| Figura 7 - Ponto de umidade ótimo..... | 31 |
| Figura 8 - Tijolos após os 28 dias de cura | 32 |
| Figura 9 - Ensaio de resistência a compressão..... | 33 |
| Figura 10 - Limite de liquidez | 35 |
| Figura 11 - Valores individuais de resistência | 38 |
| Figura 12 - Valores médios de resistência a compressão..... | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Composição média dos materiais que saem dos canteiros de obra..... | 17 |
| Tabela 2 - Resistência à compressão e absorção dos tijolos..... | 21 |
| Tabela 3 - Resistência média à compressão nos tijolos de solo-cimento..... | 22 |
| Tabela 4 - Características do solo para utilização..... | 29 |
| Tabela 5 - Limite de plasticidade..... | 36 |
| Tabela 6 - Índices físicos..... | 36 |
| Tabela 7 - Resultado da análise granulométrica..... | 37 |
| Tabela 8 - Resultado do ensaio de absorção..... | 39 |

RESUMO

A importância da engenharia civil no contexto sócio econômico de uma localidade, região e até de um país é muito grande, pois é esta área que promove o desempenho e qualidade de vida da população, mas em contrapartida também é um dos setores que mais favorece com o desmatamento, liberação de gás carbônico, entre outros meios que provocam uma degradação do meio ambiente, sendo necessário um empenho para se buscar novas tecnologias que diminuam e preservem o habitat natural que vivemos. Voltado para esta questão, este trabalho visa a analisar uma mistura de solo-cimento com adição de resíduos, para buscar essa diminuição dos materiais que são descartados em aterros, ou até mesmo em locais proibidos, visando uma reutilização deles, logo será mostrado uma pesquisa sobre diferentes tipos de resíduos da construção civil, e será feito um tijolo de solo-cimento com resíduo de argamassa com porcentagens de 10%, 15% e 20% de resíduo referente ao volume do tijolo, após a sua confecção e feito ensaios de resistência a compressão e de absorção de água de acordo com a norma ABNT NBR 8492/2012, com os resultados é possível observar que os três traços abordados no trabalho obtiveram êxito nos parâmetros determinados por norma, podendo serem utilizados em obra.

Palavras-chave: solo-cimento, resíduo, meio ambiente.

ABSTRACT

The importance of civil engineering in the socioeconomic development of a locality, region and even in a country is very great, as this is an area that promotes the performance and the quality of life of the population, but on the other hand it is one of the sectors that favors with deforestation, the release of carbon dioxide, among other means that cause a degradation of the environment, and a commitment to seek new technologies that diminish and preserve the natural habitat we are living. Aimed at this question, this work aims at the analysis of a mixture of soil-addition of waste, to seek the same amount of material that is discarded in landfills, and even in prohibited places, when reusing one of them, thus of different types of construction waste, and a soil-cement brick with mortar acid will be made with photoperiods of 10%, 15% and 20% of the wood contract to the volume of the brick, after its confectionery and made resistance tests the compression and water the connection of water standard in the ABNT NBR 8492/2012, which is possible to observe the three

Keywords: soil-cement, waste, environment.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 Contextualização..... | 12 |
| 1.2 Objetivos | 13 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 13 |
| 1.2.2 Objetivo específico | 13 |
| 1.3 Justificativa..... | 13 |
| 1.4 Estrutura do Trabalho..... | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 15 |
| 2.1 Sustentabilidade na construção civil..... | 15 |
| 2.2 Tijolo de solo-cimento com utilização de resíduo | 18 |
| 2.3 Coletas de dados para a fabricação do Tijolo | 23 |
| 2.3.1 Cimento portland | 23 |
| 2.3.2 Água | 23 |
| 2.3.3 Características do solo..... | 23 |
| 2.4 Ensaio com o solo..... | 24 |
| 2.4.1 Preparação do solo | 24 |
| 2.4.2 Ensaio da Análise granulométrica | 25 |
| 2.4.3 Ensaio dos índices de Atteberg | 25 |
| 2.5 Escolha do Traço..... | 26 |
| 2.6 Preparação da mistura e confecção de blocos | 26 |
| 2.7 ABNT NBR 8492/2012 - Determinação da resistência à compressão e absorção de água..... | 28 |
| 3 METODOLOGIA | 29 |
| 3.1 Materiais..... | 29 |
| 3.2 Traço de composição do tijolo solo-cimento com resíduo | 30 |
| 3.3 Testes laboratoriais | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.1 Análise Granulométrica..... | 32 |
| 3.3.2 Ensaio de resistência a compressão | 32 |
| 3.3.3 Ensaio de absorção de água | 33 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 35 |
| 4.1 Ensaio de caracterização do solo | 35 |
| 4.1.1 Resultados limite de liquidez..... | 35 |
| 4.1.2 Resultado Limite de Plasticidade | 36 |
| 4.1.3 Resultados Análise Granulométrica..... | 36 |
| 4.2 Ensaio de resistência a compressão | 37 |
| 4.3 Ensaio de absorção de água..... | 39 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 40 |
| REFERÊNCIAS..... | 41 |
| ANEXO A | 44 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A construção civil, na implantação de novas edificações produz grandes impactos ambientais consumindo grande parte dos recursos naturais, gerando assim uma exploração desenfreada, tendo um uso predatório e ilimitado do mesmo. Diante dessa problemática a procura de materiais e técnicas construtivas visando a redução desse impacto ambiental tem crescido a cada dia.

A busca por técnicas construtivas não convencionais e menos degradantes ao meio ambiente tem crescido, optando por meios que gerem menos desperdício e utilizando de métodos sustentáveis, desde sua extração para fabricação de materiais até os últimos detalhes da obra. Tornando o conjunto da obra com mais qualidade e economia nos custos.

O tijolo solo-cimento surge como um material construtivo com larga obtenção, baixa degradação ambiental e de fácil manuseio. Assim, pode-se perceber a importância de métodos construtivos que diminuam a agressão ao meio ambiente, e visando uma diminuição de custos e abrangência de utilização.

Nos dias atuais é observado uma valorização do uso de resíduos industriais no desenvolvimento de materiais de construção, graças ao surgimento de pesquisas voltadas para construções mais sustentáveis, sabendo-se que estes resíduos são descartados de forma ilegal em aterros clandestinos, aumentando a poluição e degradando o meio ambiente.

Neste contexto a pesquisa sugere o uso do resíduo de argamassa de cimento e areia, proveniente da construção civil, na mistura de solo-cimento e ainda o uso de aditivos plastificantes na busca de uma melhor qualidade do material.

Contudo, cabe ressaltar que um produto ecológico deve ter o mesmo desempenho de um produto comum. Sendo assim, a incorporação de diferentes materiais componentes de um tijolo ecológico, deve ser analisada sob o ponto de vistas das exigências técnicas.

Observando o contexto atual da construção civil este estudo irá somar a técnica de construção de solo-cimento com os resíduos da construção civil, buscando alternativas sustentáveis e viáveis para uma obra, através de análises técnicas e parâmetros de comportamento físico dos mesmos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa analisar o desempenho de resistência a compressão do tijolo solo-cimento com adição de resíduos da construção civil.

1.2.2 Objetivo específico

- Obter através de contextualização os tipos de resíduos que podem ser empregados na fabricação do tijolo solo-cimento;
- Fabricar os tijolos solo-cimento com adição de resíduo de acordo com a norma ABNT NBR 10833/2012;
- Verificar a resistência à compressão e a capacidade de absorção d'água, utilizando as diretrizes da norma ABNT NBR 8492/1984;

1.3 Justificativa

Mesmo com o avanço tecnológico, não houve uma diminuição no consumo de matéria vinda do meio ambiente, pelo contrário, houve um aumento, demonstrando a relevância que se deve ter para preservação do mesmo, por isso é tão importante estudos que viabilizem uma retomada da tecnologia para a área de preservação ambiental. No caso na construção civil, estas tecnologias podem se referir a reutilização de matéria prima, que seriam os resíduos descartados em obras, podendo serem empregados na fabricação de tijolos sustentáveis.

1.4 Estrutura do Trabalho

Capítulo 1: Introdução são abordados o tema, a contextualização, a importância e os objetivos da pesquisa.

Capítulo 2: Fundamentação teórica foi feita a revisão bibliográfica onde são abordados temas relacionados com este trabalho.

Capítulo 3: Metodologia são apresentados os métodos para a realização da avaliação do desempenho físico.

Capítulo 4: Resultados e Discussão são abordados os resultados obtidos após as análises, estudos realizados pela dupla e as discussões relacionadas a outros trabalhos abordando temas parecidos.

Capítulo 5: Conclusão é abordado a conclusão sobre o desempenho funcional, do tijolo solo-cimento com adição de resíduo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sustentabilidade na construção civil

Em todas as áreas da sociedade existe um tema que está sempre em discussão que é o desenvolvimento sustentável, havendo uma busca incessante por formas de estratégias, produtos e materiais que gerem um menor impacto no meio ambiente, que consiga diminuir o consumo e a extração direta do habitat de forma que não há um retorno para o mesmo. Sendo assim a área da construção civil necessita de criar novos meios, novas soluções, novos materiais voltados para o campo da sustentabilidade.

Segundo Ângulo (2001) a construção civil é responsável por gerar vários impactos no meio ambiente, e isso vem desde a fabricação de cimento que é um dos principais matérias no ramo da construção civil, liberando gás carbônico na atmosfera, conhecido por ser o principal causador do efeito estufa, mudanças na topografia, desmatamento e destruição da fauna e flora, despejo de resíduos da construção e demolição nos aterros e locais inapropriados, como proximidade de rios, utilizando madeiras de áreas reflorestadas para cozimento dos tijolos cerâmicos.

O método que está ganhando conscientização das empresas para a melhor forma de lidar com seus resíduos é a reciclagem, pois com ela as empresas visam uma diminuição dos custos, por não necessitar de aterros para despejar os seus resíduos, ganho na inovação e tecnologia para criação de novos materiais diminuindo a utilização de produtos naturais, e conseguindo reutilizar matéria prima vinda dos resíduos que seriam descartados colaborando para economia da empresa, e ajudando a sociedade (MIRANDA, 2007)

Segundo Pinto (2006), uma forma de resolver e diminuir os danos gerados ao meio ambiente pelo setor da construção civil, é o gerenciamento dos resíduos sólidos, sabendo que este tem uma geração de volume de mais de 50% de todos os resíduos do setor.

O material deste resíduo sólido vem desde argamassa, materiais cerâmicos, concreto, plásticos, madeiras, vidros e metais, sendo que os primeiros três produtos são responsáveis pelo maior volume.

Segundo Ângulo et. al. (2001) a reciclagem e reaproveitamento de resíduos gerados da demolição e construção dentro da área da engenharia civil tem um impacto

muito grande na sociedade como um todo, por ser um setor intimamente ligado com a própria população, girando a economia, melhorando a saúde e bem-estar. A reciclagem e reaproveitamento elas se destacam em todas as regiões do país, pois se consegue inovar em produtos reutilizáveis diminuindo transporte de matéria prima que é gerada longe do local, podendo criar novos materiais para o setor da construção civil também renováveis, afetando diretamente na geração de emprego e avanços tecnológicos, e reaproveitando áreas que antes eram utilizadas para aterros e rejeitos.

Promover esta ideia teria um retorno rápido e uma percepção da mudança benéfica através da diminuição na poluição do ambiente, redução de assoreamento e enchentes, preservação de áreas que antes estavam sendo degradadas, podendo transformar em parques protegidos.

Caminhando para este lado, o tijolo solo-cimento se demonstra extremamente ligado a todos estes quesitos, utilizando matéria prima encontrada na própria região reduzindo gasto com transporte, gera poucos resíduos, pode ser reutilizado, a criação deste gera um impacto muito menor pois necessita de menos consumo de energia para sua produção, e também pode utilizar resíduo sólidos para sua fabricação (Grande, 2003).

O produto solo-cimento é obtido pela mistura dos materiais solos, água e cimento, só que o solo tem uma proporção muito maior que chega até 90% em relação ao cimento usado na mesma mistura, tendo uma redução significativa dele, mas mantendo as os parâmetros de valores básicos exigidos em norma.

A presença de areia grossa e pedregulho, sendo os dois materiais inertes, com função apenas de enchimento, favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerarem os menores.

No entanto, é necessário que o solo tenha uma fração mínima fina, pois a resistência inicial do solo-cimento se deve a coesão da fração fina compactada (Segantini, 2007).

Nesta mesma ideia são produzidos os tijolos de solo estabilizado cimento, no qual a granulometria da mistura é estabilizada com os resíduos da construção civil triturados, tendo este material propriedades parecidas com as de uma areia grossa produzindo um resultado favorável técnica e economicamente (Ferraz, 2004).

Em 2004, foi criado um conjunto de normas brasileiras que abrangem os resíduos da construção civil (LIMA, 2007). Na prática, o órgão criou responsabilidades para toda a cadeia envolvida: geradores, transportadores, receptores e municípios.

Como resultado destas mudanças, teve início um ciclo de novos procedimentos e atividades controladas para fazer valer a regra.

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos bens minerais descartados pelas obras civis pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental por meio da reutilização e da reciclagem dos rejeitos minerais (SOUZA, 2006).

Segundo Ângulo et. al. (2001) a reciclagem de resíduos de construção pode ser uma oportunidade de transformação de fontes de despesa em faturamento ou de, pelo menos, redução de despesas. As vantagens daí decorrentes são extremamente visíveis, principalmente nos dias atuais.

Ângulo et. al. (2001) também afirmam que a inexistência de marcas de qualidade ambiental de produtos mostra que as empresas brasileiras que eventualmente reciclam não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, diferente de outros países. Talvez a causa deste aparente desinteresse seja um receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade.

Segundo Pinto (2006), a média da relação dos resíduos sólidos gerados na construção civil, costuma ser argamassa 64% e os componentes para vedação que são: telhas, tijolo furado, tijolo maciço e blocos; 30% e outros materiais como areia, concreto, metais, plásticos 6%, a Tabela 1 abaixo mostra a relação de materiais e suas porcentagens de descartes em um canteiro de obra, independente do seu volume, sendo esta relação de porcentagem de cada material variando de acordo com o tamanho de cada obra.

Tabela 1 - Composição média dos materiais que saem dos canteiros de obra

| Material | % | Material | % |
|---------------------------|----------|------------------|----------|
| Argamassa | 63,27 | Pedras | 1,38 |
| Tijolos maciços | 17,98 | Cimento amianto | 0,38 |
| Telhas, lajotas, cerâmica | 11,11 | Solo | 0,13 |
| Concreto | 4,23 | Madeira | 0,11 |
| Blocos de concreto | 0,11 | Papel | 0,20 |
| Ladrilhos de concreto | 0,39 | Matéria orgânica | 0,20 |

Fonte: Pinto, 2006

2.2 Tijolo de solo-cimento com utilização de resíduo

A construção com terra se confunde com o próprio Homem, marcando presença em todas as épocas e em todos os continentes. O solo foi a primeira e mais antiga argamassa empregada pelo homem. Vestígios de habitações humanas encontradas no período mesolítico (há 14 mil anos atrás) confirmam a utilização do solo na estrutura das paredes. Os romanos aperfeiçoaram a técnica acrescentando cal. Há cerca de 8 mil anos, na Mesopotâmia, eram confeccionados tijolos a base de solos (cinza vulcânica decomposta) e cal. Algumas obras desta época podem ser visitadas até hoje.

Existem cidades históricas no Brasil como Diamantina, Ouro Preto e Paraty que a mais de 400 anos utilizavam de forma intensiva o adobe, pau-a-pique, taipa-de-sopapo e taipa-de-pilão, todos estes métodos tem em comum de material o solo, so que a partir do século 19, com o crescente uso e aplicação do cimento o solo começou a ser visto como um material de segunda linha, logo só conseguia encontrar construções com sua utilização em áreas rurais (LIMA, 2007).

De acordo com Gonçalves (2005), pesquisas indicam que o cimento Portland teve início de sua fabricação no Brasil por volta do ano 1888, sendo a fábrica construída na fazenda Santo Antônio em Sorocaba-SP, mas não foi bem sucedida e desde essa época tiveram diversas tentativas de fábricas no país mas apenas em 1924 na cidade de Perus também no estado de São Paulo, a companhia brasileira de cimento portland conseguiu implementar e ter resultados com a fabricação de cimento na indústria brasileira. As primeiras toneladas foram produzidas e colocadas no mercado em 1926.

Apenas na década de 1970, que houve uma atenção do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED), da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), para pesquisas voltadas para utilização da mistura solo-cimento.

Segundo Grande (2003). Antes disso, tem-se poucos registros de sua utilização no País, como na cidade de Petrópolis (RJ) em 1948, com a construção de casas residenciais e em Manaus (AM) em 1953, com a construção de um hospital totalmente em paredes de solo-cimento.

A estabilização dos solos, em geral, consiste em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de se obter propriedades necessárias a uma

aplicação particular (GONÇALVES, 2005).

Estabilização dos solos é o processo onde se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas ou desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção de sua granulometria e da sua plasticidade ou de adição de substâncias que lhe ofereça uma coesão proveniente da cimentação ou aglutinação de seus grãos. (MIRANDA, 2007).

Depois de pesquisas sobre a estabilização entre solo e cimento, por volta de 1948, a mistura de solo-cimento passou a ser mais utilizada em construção de habitações (ABCP, 2004), (Figura 1).

Figura 1 - Composição do tijolo solo-cimento



Fonte: IEP, 2019

A qualidade do solo-cimento está atrelada a diversos fatores, dos quais os principais podem se enquadrar, a compactação da mistura, o método usado na mistura, o tipo de solo empregado e o teor de cimento usado. Desses fatores o mais influente na adequação da mistura é o solo (GRANDE, 2003).

A porcentagem máxima para viabilidade econômica da mistura do solo com cimento é de 50% de finos, o que traduz a grande influência da granulometria no processo. Em pesquisa foram encontradas afirmações distintas quanto à influência da matéria orgânica no resultado final do tratamento do solo com cimento ou não (SEGANTINI, 2007).

Uma evidência interessante de que a mistura é fator influente na resistência e durabilidade, é que a variação de resistência pode ser de até 50% quando o solo-cimento fabricado para pavimentação é misturado em laboratório e no campo (GRANDE, 2003).

Existe uma sequência estabelecida pela ABCP (2004) para a mistura de solo-cimento na produção de tijolos e blocos. Primeiro deve-se preparar o solo

destorroando, pulverizando e peneirando. Depois a mistura é preparada adicionando cimento e homogeneizando a seco e a úmido. A moldagem que é o processo final, é o uso efetivo da mistura nos moldes que darão forma aos tijolos.

A preocupação para que o material atinja um peso específico satisfatório é fundamental, para isso faz-se uso de uma boa compactação. Isso vai lhe conferir a resistência mecânica apropriada que se deseja atingir para o fim escolhido (FERRAZ, 2004).

Lima (2007), afirma que para estabilizar o solo-cimento, o conceito de relação entre água e cimento é diferente da utilizada em tecnologias de concreto.

Todas essas afirmações nos levam a concluir que o teor de umidade e compactação do solo deve ser cuidadosamente observado na confecção de tijolos solo-cimento, o que leva também Grande (2003), a afirmar que a umidade ótima de compactação é suficiente para hidratar o cimento, desde que levado em consideração a boa homogeneização da mistura, fazendo com que o último entre em contato suficiente com a água.

Algumas pesquisas com solo-cimento estão sendo elaboradas utilizando várias espécies de resíduos, na busca do melhor desempenho do material, dando também destino aos Resíduos de Construção e Demolição. Muitos desses estudos têm apresentado bons resultados finais.

A ideia de aproveitar os resíduos de argamassa de cimento e areia na composição do solo para a confecção do solo-cimento surgiu em razão de se constatar que o material, após sua britagem, possui características granulométricas que se assemelham às de areia. Sabendo-se que os solos arenosos são os mais indicados para a obtenção de um solo-cimento de qualidade, o acréscimo deste resíduo devidamente triturado ao solo, vem melhorar a granulometria da mistura.

Ao utilizar resíduo de argamassa de cimento em tijolos de solo-cimento, Ferraz e Segantini (2007) verificaram que os resultados dos ensaios de resistência à compressão melhoraram à medida que foram feitas adições de resíduos, atendendo aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas brasileiras. Os ensaios de absorção de água mostraram que o acréscimo destes resíduos promove a diminuição de absorção de água dos tijolos de solo-cimento, (Tabela 2).

Tabela 2 - Resistência à compressão e absorção dos tijolos

| Traço | Resistência à compressão média (MPa) | Absorção (%) |
|---------------------------------------|---|-------------------------|
| Solo + 6% de cimento | 1,62 | 17,5 |
| Solo + 8% de cimento | 2,31 | 17,2 |
| Solo + 10% de cimento | 2,69 | 17,0 |
| Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo | 2,17 | 17,2 |
| Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo | 2,77 | 16,8 |
| Solo + 10% de cimento+ 20% de resíduo | 3,25 | 16,4 |
| Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo | 3,23 | 12,9 |
| Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo | 3,72 | 12,6 |
| Solo + 10% de cimento+ 40% de resíduo | 4,12 | 12,4 |

Fonte: Ferraz e Segantini. 2004

Algumas pesquisas promovidas por Souza (2006), comprovaram que se ao utilizar Resíduos de Concreto (RC) na fabricação de tijolos que já utilizam uma mistura conhecida no meio da construção civil que é o solo-cimento obteve uma melhora nas características de resistência destes tijolos melhorando os seus resultados como também uma diminuição na quantidade de cimento utilizado, somado com a diminuição de resíduos descartados pelas obras. Pode se notar que o aumento da compressão foi proporcional ao aumento dos resíduos de concreto utilizados nos tijolos, para os traços de até 40% de RC em relação à massa de solo. Mas a partir de um certo ponto que foram os traços com 60% de resíduos de concreto os resultados encontrados já não começaram a ter uma variação tão significativa como os encontrados até 40% de RC, indicando haver estabilização no aumento da resistência para adições entre 40% e 60% de RC. O aumento de RC também conseguiu promover uma redução nos valores de absorção, melhorando assim a qualidade dos tijolos executados com este tipo de resíduo. (Tabela 3).

Tabela 3 - Resistência média à compressão nos tijolos de solo-cimento

| Traço | Resistência Média (MPa) | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--------|---------|----------|----------|
| | 07 dias | 28dias | 56 dias | 120 dias | 240 dias |
| solo + 6% de cimento | 1,60 | 3,40 | 4,11 | 4,70 | 4,84 |
| solo + 8% de cimento | 2,31 | 4,20 | 5,03 | 6,63 | 6,80 |
| solo + 10% de cimento | 2,69 | 5,57 | 7,30 | 7,71 | 7,96 |
| solo + 6% de cimento+ 20% de resíduo | 2,50 | 3,74 | 4,15 | 5,02 | 5,49 |
| solo + 8% de cimento+ 20% de resíduo | 2,89 | 4,74 | 5,34 | 7,21 | 7,35 |
| solo + 10% de cimento+ 20% de resíduo | 3,21 | 5,93 | 7,43 | 8,26 | 8,62 |
| solo + 6% de cimento+ 40% de resíduo | 2,78 | 4,39 | 4,94 | 5,81 | 6,03 |
| solo + 8% de cimento+ 40% de resíduo | 3,03 | 5,18 | 6,23 | 8,14 | 8,22 |
| solo + 10% de cimento+ 40% de resíduo | 3,74 | 6,86 | 8,12 | 9,31 | 9,93 |
| solo + 6% de cimento+ 60% de resíduo | 2,78 | 4,64 | 4,94 | 5,73 | 6,07 |
| solo + 8% de cimento+ 60% de resíduo | 3,08 | 5,09 | 6,44 | 8,02 | 8,23 |
| solo + 10% de cimento+ 60% de resíduo | 3,86 | 6,96 | 7,97 | 9,80 | 9,93 |

Fonte: Souza, 2006

Miranda (2007) utilizou em suas pesquisas o resíduo gerado no beneficiamento do mármore e granito na fabricação dos tijolos de solo-cimento, ele obteve não só uma melhora na resistência como também com o RC uma diminuição do consumo de cimento. Como mostra o Anexo A, em sua pesquisa foi notado que seus resultados, tiveram um bom desempenho no quesito resistência a compressão, com o aumento da quantidade de resíduo no beneficiamento do mármore, utilizando diferentes teores de cimento. Já nos ensaios de absorção de água notou-se pequenas variações neste ensaio, demonstrando ser mais estável nesta aplicação, mas com um aumento contínuo de sua resistência a compressão de acordo com o aumento do resíduo. Concluiu-se, portanto, que o resíduo possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento com qualidade.

2.3 Coletas de dados para a fabricação do Tijolo

2.3.1 Cimento portland

A NBR 11578/1998 cita como “aglomerante hidráulico que é adquirido através da moagem do clínquer Portland, no qual vai se adicionando quantidade já comprovadas de algumas formas de sulfato de cálcio, em seu procedimento”, como Cimento Portland.

Na ABCP (2004), dita que o cimento Portland é um material fino aglomerante que reage misturado com a água, dando a ele propriedades de endurecimento, após o efeito de endurecimento, mesmo que seja adicionado mais água a ele, este já não irá sofrer mais nenhum tipo de reação.

Hoje existem no mercado diferentes tipos de Cimento Portland, alguns possuem certas características e propriedades tornando-se mais adequados para determinados usos.

O Cimentos Portland é classificado em simples e compostos, os simples subdividem-se em CP comum ou com adição e os compostos em CP composto com escoria, composto com pozolana e composto de fíler, e existem ainda CP de alto forno, pozolânico, de alta resistência inicial, de baixo calor de hidratação, resistente aos sulfatos, branco e para poços petrolíferos (ABCP, 2004).

2.3.2 Água

A NBR 8491/2012 “instrui que a água usada deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento”. De modo geral, a água que será usada para a produção dos tijolos, não deve apresentar nenhum tipo de impureza para que não afete na hidratação entre a água e o cimento contido na mistura, o que pode acarretar futuras patologias.

2.3.3 Características do solo

A ABCP (2004) fala que o material solo-cimento é resultado da mistura entre cimento Portland, solo e água, após sua mistura ficar homogenia, ela é compactada

com seu teor ótimo de umidade para obter o máximo de densidade possível, adquirindo assim um ganho maior de resistência e durabilidade.

De maneira geral, considera-se adequado para produzir solo-cimento, solos que possuam as seguintes características:

- 100% dos grãos passando na peneira ABNT 4,8mm;
- 10% a 50% dos grãos passando na peneira ABNT 0,0075;
- Limite de Liquidez $\leq 45\%$;
- Limite de Plasticidade $\leq 18\%$

Os ensaios de análise granulométrica e dos limites de consistência do solo devem ser feitos no laboratório para verificar se o solo estará dentro dos limites aceitáveis, (PECORIELLO; BARROS, 2004).

2.4 Ensaios com o solo

2.4.1 Preparação do solo

A norma da ABNT NBR 6457/2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, “Esta norma prescreve o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na peneira 4,8mm). Apresenta-se, ainda, o método para determinação do teor de umidade de solos, em laboratório.”

Preparação com secagem prévia até a umidade higroscópica:

- Secar a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica;
- Desmanchar os torrões, evitando-se quebra de grãos, e homogeneizar a amostra;
- Com o auxílio do repartidor de amostrar, ou pelo quarteamento, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para realização do ensaio.

2.4.2 Ensaio da Análise granulométrica

Seguindo a norma da ABNT NBR 7181/2016 – Solo – Análise Granulométrica. O ensaio de granulometria é utilizado para determinar a distribuição granulométrica do solo, ou em outras palavras, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos, representa na massa seca total utilizada para o ensaio.

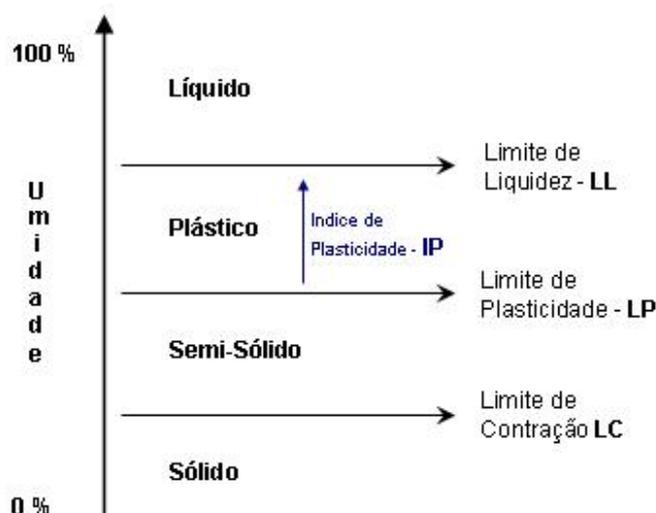
O principal objetivo é conhecer a distribuição granulométrica do agregado, e representa-la através de uma curva, possibilitando assim a determinação de suas características físicas.

2.4.3 Ensaio dos índices de Atteberg

Os limites de liquidez (LL) e limites de plasticidade (LP), também são conhecidos como os índices de Atterberg, estes limites demonstram o comportamento de solos argilosos de acordo com o teor de umidade apresentado. Solos argilosos quando tem um certo teor de água terão um comportamento mais plástico, mas à medida que este teor de água aumenta começam a ter um comportamento líquido (PINTO, 2006).

A diferença entre o valor do LP e o LL é conhecido como índice de plasticidade (IP), assim consegue uma faixa entre eles que determina quando ele começa o estado plástico e o estado líquido conforme a Figura 2.

Figura 2 - Limites de Atterberg dos solos



Fonte: Pinto, 2006

2.5 Escolha do Traço

Ao escolher o tipo de traço que irá usar, este deve seguir as exigências colocadas pela norma NBR 8492/2012 que dita sobre os valores aceitáveis para o ensaio de absorção de água e resistência a compressão. A norma também fala que para os ensaios deve-se preparar três traços distintos e para cada um dos traços deverá ser fabricado seis moldes, para que sejam realizados os ensaios, sendo três para o teste de absorção de água e os outros três para o teste de resistência a compressão. O traço volumétrico básico será de 10% de cimento pois esta foi a porcentagem que teve maior relevância na resistência a compressão como mostrado na revisão e com variação da quantidade de resíduo de 10%, 15% e 20%.

2.6 Preparação da mistura e confecção de blocos

Deverá ser feito o peneiramento do solo numa malha ABNT de 4,8mm. Esta operação tem por função promover a pulverização do material, sendo o resíduo destorroado e, então, repeneiramento. Deverão ser descartados apenas aqueles pedregulhos maiores que a abertura da malha.

O resíduo é retirado das caçambas coletoras que ficam ao lado da obra para descarte dos materiais que não serão mais utilizados, dentre eles o resíduo das argamassas. Este resíduo é colocado sobre uma lona para secagem, e após é feito um destorroamento seguido de peneiramento, para a utilização do mesmo, (Figura 3).

Figura 3 - Caçamba com resíduo descartado

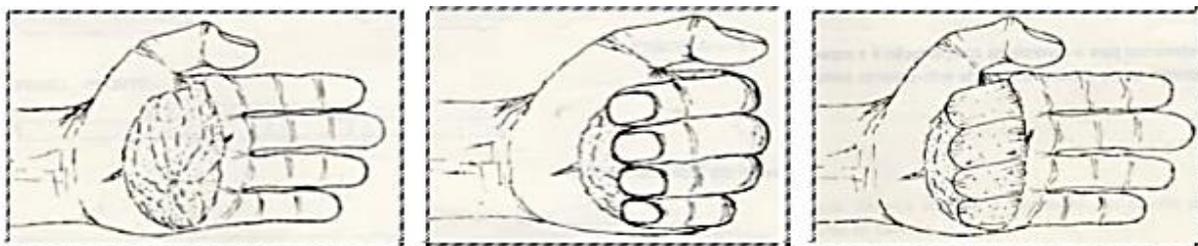


Fonte: Autores, 2019

O solo é espalhado em uma superfície lisa (bandeja de madeira ou chão batido), devidamente peneirado. Adiciona-se o cimento e faz-se a mistura até obter uma coloração uniforme ao longo de toda a massa. Logo após, coloca-se água em pequena quantidade, de preferência com o uso de regador com pequeno chuveiro adaptado, evitando a sua concentração em determinados pontos, (REIS, 2004).

De acordo com o IEP (2016), a umidade da mistura é verificada através de procedimentos simplificados, baseados na coesão apresentada pela massa fresca. Quando a amostra está seca, não existe a formação de um bolo compacto, com marca nítida dos dedos em relevo, ao apertarmos na mão a massa de forma enérgica. Outro método complementar muito utilizado consiste em deixar cair o bolo formado, de uma altura aproximadamente um metro, sobre a superfície rígida. No impacto o bolo deverá se desmanchar, não formando uma massa única e compacta. Se houver excesso de água, a massa manterá úmida e rígida após o impacto, fato não desejável, (Figura 4).

Figura 4 - Teste de umidade



Fonte: IEP, 2016

Após obter a mistura, ela deve ser colocada na prensa, sendo está indiferente se é manual ou automática, a vantagem da prensa manual é o baixo custo, tanto para o seu valor de compra como sua manutenção, tirando o fato que não há necessidade de energia elétrica para o seu funcionamento e tem uma maior facilidade de locomoção por ser mais leve, a desvantagem deste tipo de prensa manual é o fato da baixa demanda de compactação por exigir trabalho braçal, (REIS, 2004), (Figura 5)

Figura 5 - Prensa manual para fabricação de tijolo solo-cimento



Fonte: IEP. 2016

2.7 ABNT NBR 8492/2012 - Determinação da resistência à compressão e absorção de água

Os tijolos serão ensaiados conforme a norma NBR 8491/2012, está tem todas as diretrizes que devem ser seguidas para os ensaios para determinação de resistência a compressão dos tijolos, ensaio de absorção de água, ensaio para análise dimensional dos tijolos como todos os parâmetros de valores mínimos de referência aceitáveis na norma, estes valores são para a resistência a compressão de 2,0 Mpa para o valor médio entre eles, e não devendo ser inferior a 1,7 Mpa para o resultado individual, e em relação a absorção de água tem-se que não deve ser superior a 20% de seu volume médio, não devendo ser maior do que 22% individual.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Foi extraído um solo na região de Vermelho Novo / MG e este foi levado até o laboratório das Faculdades Integradas de Caratinga, para se iniciar os ensaios de caracterização, sabendo conforme mostrado na revisão bibliográfica através das norma NBR 10833/2012 que este deve ter parâmetros pré-estabelecidos para se ter um melhor desempenho, estes parâmetros deverão estar em conformidade com a Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Características do solo para utilização

| <i>Características</i> | <i>Requisitos (%)</i> |
|---|-----------------------|
| % Passante na peneira ABNT 4,75mm (nº 4) | 100 |
| % Passante na peneira ABNT 0,075mm (nº 200) | 10 a 50 |
| Limite de Liquidez | ≤ 45 |
| Índice de Plasticidade | ≤ 18 |

Fonte: ABNT NBR 10833, 2012

Para encontrar estes valores foram feitos os ensaios de:

- Ensaio de granulometria NBR 7181/2016;
- Ensaio de limite de plasticidade NBR 7180/2016;
- Ensaio de limite de liquidez NBR 6459/2016;

Caso ocorra do solo não se enquadrar conforme a Tabela 5, poderá ser feito uma mistura granulométrica com outro solo, para se obter os valores desejados e assim prosseguir com os ensaios.

Concluído a caracterização do solo, foi selecionado o cimento, a escolha do tipo de cimento não foi levada em conta por nenhum autor, deixando a critério de quem for fabricar, sendo assim foi escolhido o cimento do tipo CP-II Z, por causa de seu preço e disponibilidade na região.

A água deve ser limpa e livre de qualquer tipo de impureza, para que não atrapalhe nas reações entre ela e o cimento.

O resíduo de argamassa de cimento e areia foi coletado em uma caçamba de tira-entulho de um canteiro de obras de um edifício em construção

Após a coleta, o resíduo foi triturado e peneirado, a fim de se eliminar os torrões e grãos com diâmetros superiores a 4,8 mm, que é a granulometria adequada para a confecção de tijolos, após a britagem, o material foi utilizado para a confecção dos tijolos.

3.2 Traço de composição do tijolo solo-cimento com resíduo

Foram usadas na composição das misturas, porcentagens diferentes de resíduo com a substituição do solo pelo resíduo nas porcentagens de 10%, 15% e 20%. Como mostrado nas Tabelas 2, 3 e 4 pelos autores Ferraz e Sagantini (2004), Souza (2006) e Miranda (2007) respectivamente na revisão bibliográfica, o traço de solo-cimento que obteve os melhores resultados de resistência foram os de 1:10, então será mantido esta proporção de solo e cimento, acrescentando apenas a quantidade de resíduo referente a porcentagem pré-determinada, (Figura 6).

Figura 6 - Material sendo misturado



Fonte: Autores, 2019

Toda a mistura foi feita de forma manual, combinando primeiro o resíduo, solo e cimento até se obter uma homogeneidade da composição, após foi adicionado água e continuou o processo de mistura até se chegar a umidade ótima obtida através do ensaio empírico onde se aperta o solo e verifica se este está com as marcas dos dedos, conforme a Figura 7. Obtendo a mistura foi feita uma compactação com o formato e tamanho definido com as dimensões prescritas na norma ABNT NBR 8492/2012.

A diretriz da norma ABNT NBR 10833/2012 fala que deve ser fabricado um limite mínimo de seis tijolos, e destes, três serão usados para a determinação de resistência a compressão e os outros três para o teste de absorção de água, para este trabalho foi feito um total de 18 tijolos sendo 6 tijolos fabricados para cada um dos três traços.

Figura 7 - Ponto de umidade ótimo



Fonte: Autores, 2019

3.3 Testes laboratoriais

Passado o prazo de 28 dias foi iniciado os ensaios de análise granulométrica, resistência a compressão e absorção de água, para determinação das características do tijolo em relação a cada porcentagem de resíduo, conseguindo assim determinar qual a melhor proporção para se obter os melhores valores de acordo com as normas vigentes, (Figura 8).

Figura 8 - Tijolos após os 28 dias de cura



Fonte: Autores, 2019

3.3.1 Análise Granulométrica

Foi colocado 1500g de amostra na estufa a 105° graus por 24h para secagem prévia do material. Decorrido o tempo, o solo foi retirado e destorroado, pesou-se 1000g para iniciar os testes de peneiramento utilizando as faixas de peneiras e o procedimento de pesagem de cada uma, como dita a norma ABNT NBR 7181/2016.

3.3.2 Ensaio de resistência a compressão

Foi utilizado no laboratório o aparelho de ensaio a compressão conforme as diretrizes da norma NBR 8492/2012, a máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o tijolo até que o mesmo viesse a romper.

As faces dos tijolos devem estar equilibradas e deve colocar um material resistente de igual ou maior área que os tijolos para a força seja exercida igualmente em toda sua extensão, (FERRAS et al., 2004), (Figura 9).

Figura 9 - Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autores, 2019

3.3.3 Ensaio de absorção de água

A absorção de água é uma das características dos tijolos de solo-cimento que são descritas na NBR 6457/2016, não podendo ultrapassar o valor médio de 20% e o valor individual de 22% segundo a NBR 8491/2012.

Os tijolos foram colocados na estufa a 105 C° por um período de 24 horas, para secagem completa, após o término os tijolos foram pesados e anotados os seus valores, podendo assim serem colocados dentro dos tanques de água totalmente submersos por um período também de 24 horas, finalizado o tempo, eles foram novamente pesados e anotados os seus valores, com estes dados em mãos foi feito a Equação 1 para se obter os resultados de teores de umidade referentes a absorção de água

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

Na qual:

M1 = Massa do tijolo seco

M2 = Massa do tijolo úmido saturado

A = Porcentagem do teor de umidade

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as análises e resultados serão apresentadas em formas de gráficos e tabelas seguindo uma discussão de seus resultados obtidos, se estão em conformidade com os parâmetros ditos na revisão bibliográfica.

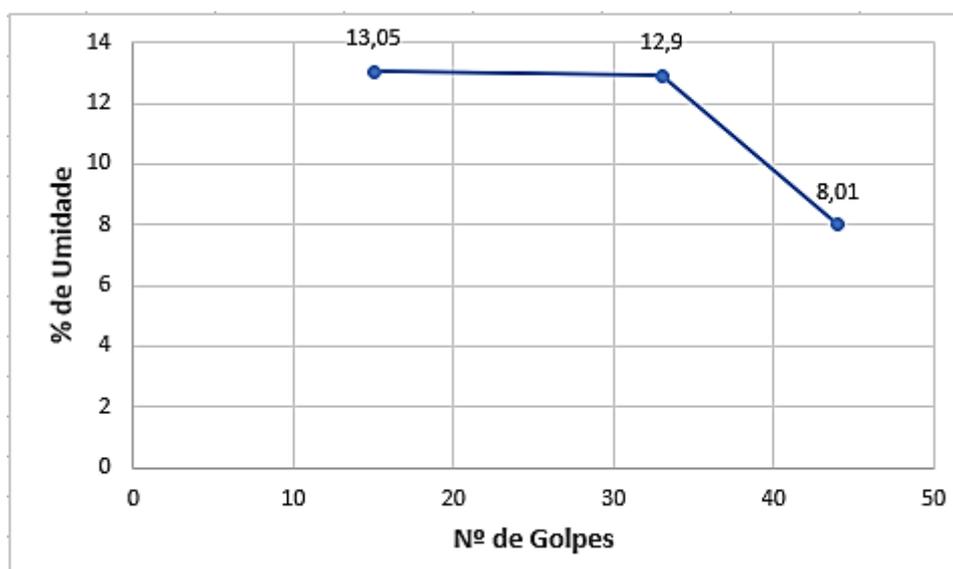
4.1 Ensaio de caracterização do solo

A realização dos ensaios para caracterização do tipo de solo, é necessário para definir se o solo obtido é o tipo ideal como visto na revisão bibliográfica, logo foram realizados os ensaios da análise granulométrica e determinação dos limites de liquidez e plasticidade do solo. O solo foi retirado da região de Vermelho Novo / MG.

4.1.1 Resultados limite de liquidez

Para o ensaio foi utilizado o aparelho de Casagrande o qual se coloca uma quantidade de solo umedecida e se retira a parte do solo que se encostou após um número de golpes, este solo é pesado, levado a estufa por 24h e pesa-o novamente, determinando o seu teor de umidade, com pelo menos 3 valores consegue determinar o teor de umidade para 25 golpes, (Figura 10).

Figura 10 - Limite de liquidez



Fonte: Autores, 2019

4.1.2 Resultado Limite de Plasticidade

Para o ensaio de limite de plasticidade, utiliza um cilindro metálico com 10cm de comprimento e 3mm de espessura, e uma placa de vidro a qual coloca-se o solo e começa a molda-lo até ficar com o comprimento e espessura do cilindro, caso o solo se parta adicione água. Quando obtiver três moldes, pese e leve a estufa por 24h, e pese-os de novo para obter o teor de umidade, com os três valores calcule a média do teor de umidade, (Tabela 5).

Tabela 5 - Limite de plasticidade

| Cápsula | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| Peso do solo seco | 16,57 | 13,43 | 14,80 |
| Peso do solo úmido | 17,17 | 13,92 | 15,26 |
| Teor de umidade | 3,62 | 3,65 | 3,11 |

Fonte: Autores, 2019

Com o resultado pode-se calcular o valor médio do limite de plasticidade que foi de 3,46%. Tendo este e o resultado do limite de liquidez, foi obtido também o índice de plasticidade conforme a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Índices físicos

| | |
|------------------------------------|-------|
| <i>Limite de Liquidez (LL)</i> | 13% |
| <i>Limite de Plasticidade (LP)</i> | 3,46% |
| <i>Índice de Plasticidade (IP)</i> | 9,54% |

Fonte: Autores, 2019

4.1.3 Resultados Análise Granulométrica

Com o ensaio da análise granulométrica observou que os valores encontrados estavam de acordo com a necessidade para a fabricação dos tijolos tendo os dados obtidos, tem-se 31,66% de argila e 59,43% de areia atendendo as exigências da ABNT NBR 10833/2012. O resultado completo do ensaio de peneiramento está na Tabela 7 logo abaixo.

Tabela 7 - Resultado da análise granulométrica

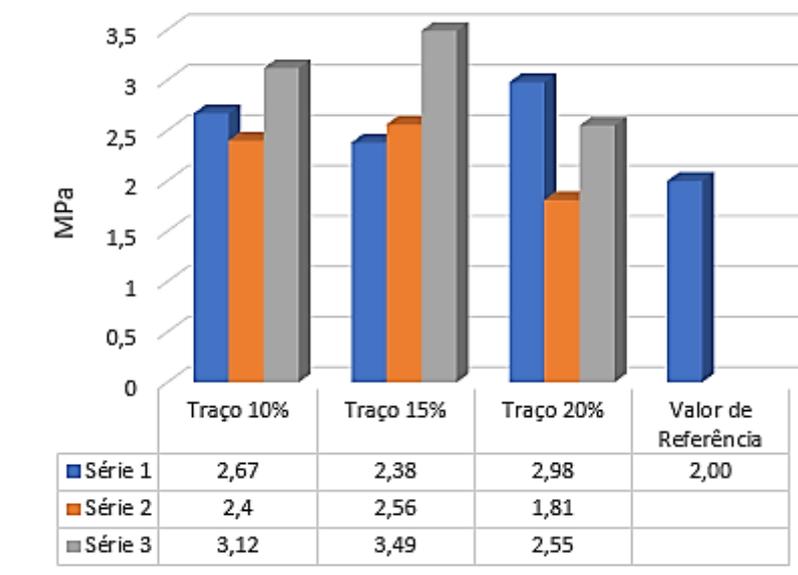
| <i>Peneira</i> | <i>Abertura (mm)</i> | <i>Massa Ret. (g)</i> | <i>% Ret.</i> | <i>% Ret. Acum.</i> | <i>% Que passa</i> |
|----------------|----------------------|-----------------------|---------------|---------------------|--------------------|
| 4 | 4,75 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 10 | 2 | 108,67 | 10,44 | 10,44 | 89,56 |
| 16 | 1,18 | 135,62 | 13,04 | 23,48 | 76,52 |
| 30 | 0,6 | 127,14 | 12,22 | 35,70 | 64,30 |
| 50 | 0,30 | 135,93 | 13,07 | 48,77 | 51,23 |
| 100 | 0,15 | 110,92 | 10,66 | 59,43 | 40,57 |
| 200 | 0,075 | 92,62 | 8,91 | 68,34 | 31,67 |
| Fundo | | 329,37 | 31,66 | 100 | 0 |
| <i>TOTAL</i> | | 1040,27 | 100 | | |

Fonte: Autores, 2019

4.2 Ensaio de resistência a compressão

Conforme a NBR 8492/2012 o ensaio para determinação de resistência a compressão foi feito após o período de 28 dias, a partir da data de fabricação dos tijolos de solo-cimento com adição de resíduo. Como mostrado os moldes de cada tijolo foi posto entre dois pratos de ferro com dimensões superiores aos tijolos fabricados para haver uma correta distribuição da força para toda sua área. A aplicação de força axial da máquina foi colocada até se chegar a ruptura dos moldes, quando estes chegaram a este ponto foi observado que os valores de resistência já não subiam mais, e foi anotado o valor de maior resistência encontrado em cada molde. Obtendo os valores de cada molde foi elaborado dois gráficos, uma com os valores individuais de cada molde, relacionados ao seu traço específico e outro gráfico com os valores do resultado da média de cada traço obtido, em cada um dos gráficos foi posto os valores de referência conforme a norma NBR 8492/2012, todos os valores foram colocados em Mpa, (Figura 11).

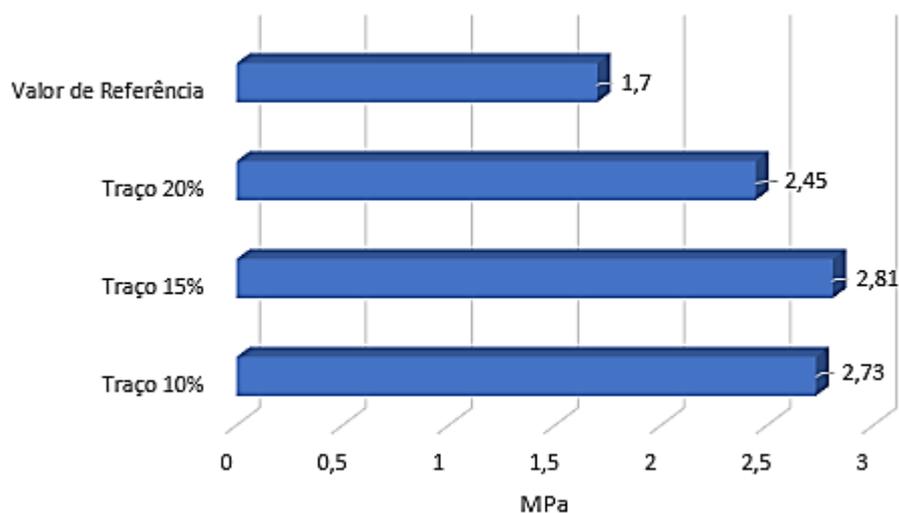
Figura 11 - Valores individuais de resistência



Fonte: Autores, 2019

Como mostrado no gráfico dos valores individuais o parâmetro para os tijolos individuais de resistência a compressão são de 2,00 Mpa, já o parâmetro da média dos resultados obtidos em cada traço é de 1,70 Mpa como será mostrado na Figura 12 abaixo.

Figura 12 - Valores médios de resistência a compressão



Fonte: Autores, 2019

Como mostrado, os valores encontrados em todos os 3 traços utilizados conseguiram estar acima dos valores, tanto individual quando a média, de resistência a compressão.

4.3 Ensaio de absorção de água

Através do teste de absorção de água, chegou-se aos resultados de cada amostra, onde, conforme exigido pela ABNT NBR 8492/2012, não devem apresentar a média dos valores maior que 20%, nem valores individuais superiores a 22%. Abaixo segue a Tabela 8 com os resultados encontrados no ensaio.

Tabela 8 - Resultado do ensaio de absorção

| <i>Traço</i> | <i>Combinação</i> | <i>M. seca (g)</i> | <i>M. sat. (g)</i> | <i>Valor individual absorção (%)</i> | <i>Média valores de absorção (%)</i> |
|--------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 10% | 1 | 1696,27 | 1893,56 | 12 | 14 |
| | 2 | 1672,93 | 1948,88 | 16 | |
| | 3 | 1729,58 | 1997,64 | 15 | |
| 15% | 1 | 1749,24 | 2102,32 | 20 | 18 |
| | 2 | 1748,27 | 2037,46 | 16 | |
| | 3 | 1724,77 | 2053,21 | 19 | |
| 20% | 1 | 1686,45 | 1942,64 | 15 | 18 |
| | 2 | 1690,78 | 1968,87 | 16 | |
| | 3 | 1602,55 | 1998,93 | 24 | |

Fonte: Autores. 2019

Quando se tem uma alta absorção de água problemas patológicos como bolor, manchas, fissuras entre outros aparecem. No entanto, todos os 3 traços também obtiveram valores dentro dos parâmetros determinados pela norma, estando aptos a serem utilizados em obras.

5 CONCLUSÃO

A abordagem por temas mais ligados a sustentabilidade está fazendo com que as empresas procurem cada vez mais vias de saída para diminuição de insumos prejudiciais ao meio ambiente. Desta forma a produção do bloco de concreto com resíduos provenientes da construção civil como componente, está sendo estudada como uma possível solução para a destinação dos resíduos de construção.

Ao se aplicar os ensaios como o teste de compressão simples e de absorção de água é perceptível que o comportamento do tijolo solo cimento com resíduo tem características favoráveis, com a utilização do traço correto.

Todos os traços escolhidos tiveram resultados de acordo com os valores e parâmetros estabelecidos em normas, alcançando resistência a compressão individual acima de 2 Mpa e a média acima de 1,70 Mpa. Além do ensaio a compressão, todos obtiveram êxito no ensaio de absorção de água, estando abaixo do patamar estipulado de 20% na média e 22% individual.

Ressaltando que o traço com 20% de resíduo começou a ter uma piora nos valores comparados com de 10% e 15%, sendo que o traço com 15% de resíduo teve os melhores resultados entre os 3 traços escolhidos, demonstrando ser uma melhor opção, caso não haja um controle de qualidade elevado, mas em contrapartida se mantiver um controle mais rigoroso, pode-se usar qualquer um dos 3 traços.

Mesmo com todos os três traços estarem de acordo com as exigências das normas, ainda é pouco aplicado este conceito de tijolo solo-cimento com utilização de resíduos na construção civil, levantando uma questão de que não é apenas necessário a busca por materiais e métodos que visam a preservação e proteção do meio ambiente, como também conscientização destes para com os construtores, que muitas vezes desacreditam por falta de conhecimento ou por medo de formas e materiais novos de se construir.

Uma opção para novos trabalhos, é utilizar outros tipos de resíduos como mostrado no decorrer do trabalho, como é o caso de tijolos cerâmicos para adicionar na mistura do solo-cimento e observar o seu comportamento, sendo assim dando continuidade a reutilização de resíduos sólidos para diminuição dos problemas ocasionados no meio ambiente, podendo assim melhorar o ambiente social.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - procedimento. Santa Catarina, 2012.

_____. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: Análise granulométrica. São Paulo, 2016.

_____. **NBR 8491**: Tijolo Maciço de Solo Cimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de solo-cimento - Determinação da resistência a compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo-SP, 2004. ABCP, ET-35, 51p. Disponível em: < http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/ET-35_Solo_cimento_Normas_dosagem_metodos_ensaios.pdf>. Acesso em 09 de abril de 2019.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil – materiais reciclados e suas aplicações. CT206 – IBRACON.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**. Ministério do Meio Ambiente. 2002.

FERRAZ, A. L. N.; SEGATINI, A. A. S. **Estudo de aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento compactado**. 46º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON – Vol. V Pré-Fabricados em Concreto. p. 229. Anais. Florianópolis. SC. 2004.

GONÇALVES, J. S. **Contribuição para a normalização da alvenaria estrutural com uso de tijolo de terra crua para construção urbana**. João Pessoa, 2005. 147p. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia Universidade Federal da Paraíba.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos molares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos, 2003.165p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

IEP - Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista. **Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-Cimento**. 73p. Editora UNIMEP. Piracicaba, 2016. Disponível em: < <http://editora.metodista.br/publicacoes/cartilha-producao-de-tijolos-de-solo-cimento>>. Acesso em 15 de abril de 2019.

LIMA, F. X. R. F. **Estudo de aplicação de resíduo de argamassa de cimento em tijolos de solo-cimento e sua influência no desempenho térmico das edificações**. Goiânia, 2007. Dissertação (Mestrado) Engenharia do Meio Ambiente - Universidade Federal de Goiás.

MIRANDA, R. A. C. **Estudo da aplicação de resíduo de marmorarias em Tijolos de solo- cimento**. Goiânia, 2007. Dissertação (Mestrado) Engenharia do Meio Ambiente - Universidade Federal de Goiás.

PECORIELLO, Luiz A.; BARROS, José Maria C. **Alvenaria de tijolos de solo cimento**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/87/artigo285631-1.aspx>>. Acesso em 30 de março de 2019.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo, 2006.

REIS, A. **O solo como material de construção**. Revista Habitare. Rio de Janeiro, ano 4 ago. 2004. Disponível em: <<http://habitare.infohab.org.br>>. Acesso em 12 de abril de 2019.

SASSINE, V. J. Área verde vira depósito de entulho. **O Popular**. Goiânia, 13 jul. 2008. Cidades, p.3.

SEGANTINI, Antônio Anderson da Silva; ALCÂNTARA. M.A.M. **Materiais de Construção e o Meio Ambiente**. In: Materiais de Construção Civil e Princípio das Ciências e Engenharia dos Materiais. (org) ISAIA, G. C. 2 ed. São Paulo, IBRACON, 2007. 1v. Pag. 833.

SOUZA, M. I.; B. PEREIRA, J. A.; SEGANTINI, A. A. S. **Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção**. TÉCNICA. Ed. 113, 2006.

ANEXO A

| Resíduo (%) | Idade (dia) | Ordem | Grau de compactação (%) | Resistência à Compressão (MPa) | Média Aritmética (MPa) |
|--------------------|--------------------|--------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 7 | 7 | 99,80 | 3,46 | 3,57 |
| | | 8 | 100,18 | 3,63 | |
| | | 9 | 99,90 | 3,60 | |
| 0 | 28 | 10 | 100,29 | 4,03 | 3,90 |
| | | 11 | 99,86 | 3,96 | |
| | | 12 | 100,03 | 3,69 | |
| 10 | 7 | 7 | 97,76 | 3,63 | 3,72 |
| | | 8 | 100,54 | 4,16 | |
| | | 9 | 100,38 | 3,37 | |
| | 28 | 10 | 100,45 | 3,35 | 3,07 |
| | | 11 | 100,63 | 3,23 | |
| | | 12 | 100,76 | 2,65 | |
| 15 | 7 | 7 | 100,05 | 3,11 | 2,93 |
| | | 8 | 100,20 | 2,92 | |
| | | 9 | 99,67 | 2,75 | |
| | 28 | 10 | 100,06 | 3,46 | 3,18 |
| | | 11 | 100,15 | 3,26 | |
| | | 12 | 99,71 | 2,83 | |
| 30 | 7 | 7 | 100,00 | 3,40 | 3,30 |
| | | 8 | 100,48 | 3,00 | |
| | | 9 | 100,52 | 3,50 | |
| | 28 | 10 | 100,31 | 3,29 | 3,23 |
| | | 11 | 99,95 | 3,15 | |
| | | 12 | 100,20 | 3,24 | |

Fonte: Miranda, 2007