

TIJOLO ECOLÓGICO – INCLUSÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM SUA COMPOSIÇÃO: ARTIGO PARA SUBMISSÃO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Mayara Rauany Pereira de Gusmão e Sabrina Vaz de Lima¹

Marcelo da Silva²

Universidade São Francisco

mayararauany@hotmail.com; sabrina10vazlima@gmail.com

¹Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. A construção civil, por ser um dos principais setores industriais do País, têm uma grande escala de produção de materiais, gerando uma quantidade considerável de resíduos, com isso, além dos vestígios de danos ao meio ambiente, aumenta a preocupação com a escassez das matérias-primas utilizadas. Visando encontrar soluções ecologicamente viáveis para a população, combinando custo-benefício e sustentabilidade, cresce a procura pela utilização do tijolo ecológico, por ser resultado de um processo de fabricação limpo que aproveita matéria prima em abundância no planeta. As construções realizadas com tijolos ecológicos incluem uma execução menos complexa, visto que não há a necessidade da utilização de uma estrutura composta por estruturas de concreto armado, como vigas e pilares. As paredes com tijolo solo cimento são executadas com a utilização de grautes, cujas barras de aço são acopladas no interior dos tijolos. Sendo assim, a quantidade de resíduos de materiais na construção, como sobras de madeiras, concreto e tijolo, são reduzidas, o que não é possível nas construções realizadas com tijolos convencionais. Neste sentido, o presente trabalho tem por finalidade realizar um estudo considerando a alteração do traço inicial da composição do tijolo ecológico, utilizando em sua base o solo-cimento e, acrescentando ou substituindo PET, com o intuito de torná-lo mais sustentável e, a partir da análise dos dados, comparar a resistência e os custos deste processo.

Palavras chave: Tijolo-ecológico, solo-cimento, sustentabilidade, resíduos, reciclagem, plásticos, construções, engenharia.

Introdução

A busca por novas tecnologias na construção civil cresceu muito, e com isso está se tornando cada vez mais complexa, produzindo processos construtivos mais eficientes e sustentáveis, com o objetivo de melhorar a condição ambiental e encontrar recursos que possam reduzir a jornada de trabalho, melhorando assim a qualidade de vida dos trabalhadores, com um ganho na produtividade e crescimento profissional.

Baseado nesses princípios, surgiu o tijolo ecológico, também conhecido como tijolo modular solo-cimento, que é constituído em sua maioria, basicamente de materiais ecologicamente corretos. Com o intuito de reduzir a agressão ao meio ambiente, sua fabricação não utiliza o processo de queima, tradicionalmente utilizada na fabricação de tijolos comuns, reduzindo assim a emissão de gases nocivos na atmosfera. Além disso, seu formato facilita a implantação de ferragens, dispensando a aplicação de grandes pilares e vigas de concreto armado, possibilitando ainda que as instalações elétricas e hidráulicas sejam executadas dentro de seus encaixes, utilizando um formato planejado, dando assim, rapidez a

obra sem ter que cortar a alvenaria para a instalação, proporcionando maior agilidade e menor desperdício de materiais na construção.

Por se tratar de um elemento construtivo caracterizado como modular, o tijolo ecológico se destaca por ter um sistema sustentável que atende satisfatoriamente às necessidades de uso da construção, comprovando para os profissionais da área, que a construção utilizando esses métodos são essenciais para a redução dos impactos ambientais com a diminuição de emissão de poluentes e de resíduos, além de ser um eficiente material que proporciona um processo construtivo mais racional.

O objetivo deste projeto de pesquisa é estudar, através de levantamentos bibliográficos e ensaios mecânicos, um novo método para a produção do tijolo ecológico, utilizando na sua composição o acréscimo de polímeros, demonstrando a viabilidade de transformar os resíduos plásticos em um material útil para meio construtivo, ajudando assim, na redução destes descartes no meio ambiente, além de analisar a diminuição de custos com este processo e o aumento da produtividade.

Surgimento do tijolo ecológico

A construção utilizando materiais do solo mais antiga que conhecemos é a pirâmide Queops, datada aproximadamente em 2600a.C. O início do uso solo-cimento na construção civil é muito questionado, há relatos que a primeira construção realizada com a utilização do solo são as muralhas da China, na qual foi utilizada uma mistura de argila e cal, na proporção de 3 partes de argila para 7 partes de cal. Com o passar dos anos, por volta de 1800, foram descobertos os aglomerantes hidráulicos, utilizado como estabilizador do solo. Devido a facilidade de obtenção e baixo custo, o solo foi utilizado para unir materiais, como madeira e pedras, para a construção de abrigos eficazes.

Até aproximadamente o ano de 1845, o solo era amplamente utilizado como método construtivo, porém com a chegada do Cimento Portland, esta técnica perdeu sua grande utilidade para o material inovador, por ter uma facilidade maior de execução. Através da associação das culturas construtivas europeias, em 1945, foram trazidas por imigrantes a técnica de construção através do solo-cimento. A Associação Brasileira de Cimento Portland regulamentou o processo de fabricação e aplicação do solo cimento na construção civil, na década de 1930, e com isso as pesquisas com esse processo ganhou força no Brasil. Segundo a NBR 12023/2012, o solo-cimento é definido como “produto endurecido, resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem, executada conforme a NBR 12253/2012”.

O meio da construção civil por ser um dos principais setores industriais do País, possui grande escala de produção de materiais e também de resíduos, com isso, além dos vestígios de danos ao meio ambiente, aumenta a preocupação com a escassez das matérias-primas utilizadas.

Visando encontrar soluções para a população que combinem custo-benefício e sustentabilidade, cresce a procura para a aplicação do tijolo ecológico, por ser resultado de um processo de produção limpo que aproveita matéria prima em abundância no planeta, o solo, e em alguns casos os resíduos da própria construção civil, o mesmo se torna um produto com uma maior viabilidade financeira para construções de moradias mais populares, conseguindo assim proporcionar o interesse comum de todos.

Diferenças entre tijolos ecológicos e convencional

Atualmente, preservação do meio ambiente tornaram-se objeto de preocupação generalizada e é discutida globalmente. O que contribui para despertar o interesse em realizar práticas sustentáveis, a fim de diminuir os impactos ambientais.

A construção civil consome 40% dos recursos naturais, 34% do consumo de água, 55% do consumo não certificado de lenha, o que gera 67% da quantidade total de resíduos sólidos urbanos e 50% do volume total desses resíduos de acordo com a Associação Nacional de Arquitetura Bioecológica (ANAB, 2009). Dando destaque para a indústria cerâmica, correspondente às olarias, com altas emissões de gases na atmosfera oriunda da combustão de seus produtos, com também na degradação ambiental devido consumo de matérias-primas que são extraídas da natureza, como é o caso da argila. A degradação ambiental é garantida pelo consumo de recurso natural, incluindo a argila que é obtida do solo sem reposição.

Em contrapartida, se for analisada a fabricação de tijolos ecológico, é dispensada a realização da cura através de fornos, sendo realizada apenas através de água. O que contribui para a diminuição de impactos ambientais, como também é amenizada a utilização de recursos naturais limitados.

Figura 1: Construção de Tijolo Ecológico



Fonte: ARQ TS, 2020. Disponível em: <https://www.arq-ts.com.br/blog/tijolo-ecologico-o-que-e-tipos-vantagens-e-desvantagens>. Acesso em: 01/06/2021

As construções realizadas com tijolos ecológicos incluem uma estrutura menos complexa, visto que não é necessário a utilização de vigas e pilares de concreto armado. Quando comparado os preços o tijolo comum é mais econômico financeiramente em relação ao tijolo ecológico. Porém, tendo em vista as facilidades e formas de utilização que o tijolo ecológico proporciona, ao analisar a obra em um contexto geral, o tijolo ecológico torna-se mais econômico, pela redução de concreto armado, argamassa e caixaria utilizado. Como também, nas obras realizadas com tijolos ecológicos, é dispensado a utilização de reboco e pintura, sendo necessário, apenas, a aplicação de impermeabilizantes.

Tipos de tijolo ecológico

Com o intuito de buscar soluções para diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil e, visando colocar no mercado técnicas construtivas com um custo menor é apresentado, como alternativa construtiva, o tijolo ecológico. O mesmo é um modelo de tijolo que promove impacto ambiental positivo, reduz o consumo de diversos materiais na área da construção e aplica o conceito de sustentabilidade no seu processo de fabricação e execução da obra.

Existem alguns projetos inovadores que estão desenvolvendo novas formas de usar os tijolos ecológicos, como os tijolos feitos de resíduos, como bagaço, couro, borracha, fibra de coco brasileira, resíduos de construção, etc.

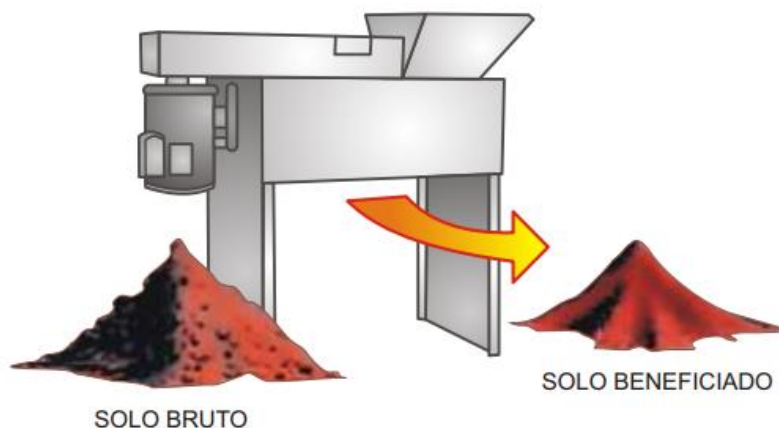
- Tijolo solo-cimento

O tijolo modular de solo-cimento, assim denominado por ser considerado um material de produção ecologicamente correto que elimina o processo de combustão para atingir a resistência desejada. A sua composição consiste em uma mistura de solo, cimento e uma pequena porção de água.

Para a produção do tijolo solo-cimento, é necessário um triturador de solo JAG ou uma peneira e uma prensa manual ou semiautomática. A alvenaria de solo-cimento não requer revestimento, com também, dispensa a utilização de argamassa, devido aos blocos serem encaixados.

O processo se inicia com a preparação do solo, realizando uma pré mistura entre o solo, o cimento e um pouco de água, logo após, essa pré mistura é levada para o triturador de solo JAG, que realiza uma mistura mais homogeneia desse material.

Figura 2: Tijolo solo-cimento



Fonte: Eco Produção – Manual Prático. Disponível em: <https://www.sahara.com.br/pdf-sahara-tecnologia/cartilha-eco-producao.pdf>. Acesso em: 26/05/2021.

Após a mistura, o material é armazenado em baldes e levado até a máquina de prensa. Logo, é realizada a regulagem do equipamento de acordo com o modelo de tijolo que será produzido, a mistura é colocada no silo do equipamento e é, portanto, iniciada a compactação desse material.

Após finalizado o uso da prensa, é importante que o equipamento seja desmontado, lavado e lubrificado para que se mantenha sua eficiência na produção.

No primeiro dia após a fabricação o tijolo não deve ser molhado, somente coberto. No dia seguinte, o tijolo é pulverizado com água e somente a partir do terceiro dia ele é molhado com a mangueira, segue-se assim até o sexto dia, sendo depois estocado.

- Reaproveitamento de Resíduos

A alvenaria convencional é muito utilizado no Brasil, sendo esta uma das principais responsáveis pela geração e desperdício de resíduos da construção, problema que ainda não tem uma solução concreta. Porém, com o aumento da demanda por busca de proveniências mais sustentáveis no país, houve um pequeno acréscimo na busca de

materiais que degradem menos o meio ambiente, tornando o tijolo ecológico mais popular. Além destes reduzem os custos de produção, em relação aos de alvenaria convencional, sendo uma alternativa ambientalmente correta.

Baseado na preocupação ecológica, surgiram várias iniciativas e ideias inovadoras, desenvolvendo novos métodos e maneiras de se construir com tijolos ecológicos.

Figura 3 – Tijolo a partir de resíduos plásticos.



Fonte: Reprodução YouTube | UN Environment Programme. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=QbZKP4UAtL8&t=145s&ab_channel=UNEnvironmentProgramme

- Tijolo Ecológico Colorido e com garrafa pet – feito de resíduos plásticos

Existem diversos tipos de tijolo ecológico que utiliza resíduos em sua fabricação, Nzambi Matee é uma engenheira que desenvolveu um tijolo feito a partir de resíduos plásticos e areia, que contém uma resistência de até sete vezes maior que o do concreto.

O processo de fabricação desse tijolo é bem parecido com o de solo-cimento, os polímeros são separados e, posteriormente aquecidos em altas temperaturas, sendo então misturados com areia formando uma massa, essa massa, que é pesada, e depois levada para a prensagem. A máquina utilizada nesse processo, foi criada pela própria especialista exclusivamente para esse tipo de fabricação.

Os tijolos possuem uma diversidade de cores, tamanhos, e formatos que são utilizados para pavimentação, com isso a empresa conseguiu reciclar mais de 20 toneladas de plástico (Coelho, Yeska, 2021).

Vantagens e desvantagens

É válido destacar, que uma importante vantagem na fabricação do tijolo ecológico é a utilização de um material com grande abundância, que é o solo. Sendo considerado como processo simplificado, realizado manualmente, podendo atender a população desfavorecida de recursos. Do mesmo modo, a ausência de queima no processo de cura é uma grande vantagem para o meio ambiente, reduzindo assim a emissão de gases poluentes depositados na atmosfera.

A presença de furos no interior do bloco, tendo a vantagem de facilitar a passagens de tubulações, evitando assim, que as paredes sejam quebradas para a instalação de redes elétricas e hidráulicas. Devido ao seu formato, o tempo de execução da obra reduz em até 30%, comparado a construções com tijolo comum. Formato o qual permite que as paredes

fiquem alinhadas, sem a necessidade de profissionais da área e ferramentas especializadas, visto que os tijolos são encaixados e colados.

Outra vantagem, tendo em vista a sustentabilidade ecológica e financeira, é a menor produção de resíduos durante a obra, conseqüentemente, economizando material. Isto é possível, por não ser necessário a utilização de madeiras, para fazer as formas de vigas e pilares, visto que os tijolos ecológicos não necessitam desses elementos.

Ao término da construção, o proprietário pode optar por querer ou não dar acabamento aos tijolos, já que possuem características estéticas e dispensam a cobertura.

Como desvantagens, podemos ressaltar a facilidade de erro em dosagem, facilitando assim o surgimento de patologias na construção civil. Com também, a utilização do solo como material base para sua produção, quando utilizada de forma desenfreada e desorganizada, pode causar efeitos erosivos ao meio ambiente. A falta de conhecimento da mão de obra, na execução da obra, pode ocasionar danos a estrutura, caso não considere as vergas das janelas e das portas.

Material e Métodos

Para atender aos objetivos deste projeto de pesquisa, definimos os materiais que serão utilizados, visando o desenvolvimento sustentável aos meios construtivos, a prevenção e redução da degradação ao meio ambiente, realizando o estudo da junção do polímero PET na composição do tijolo solo-cimento. Com isso modificamos o traço inicial do material, acrescentando ou substituindo uma parte do cimento pelo polímero PET, com o intuito de manter ou melhorar a resistência aos esforços solicitados, como também melhorar o seu custo benefício, o tornando mais econômico financeiramente.

- **Material Solo-Cimento**

O solo a ser utilizado passará por ensaio preliminar, seguindo as normas da ABNT, pois para a realização do tijolo solo-cimento é recomendado que o solo seja arenoso e fino.

Para a fabricação do tijolo, além do solo utilizamos um aglomerante, sendo este o cimento Portland, o qual é composto de clínquer e de adições. O principal componente deste aglomerante é o clínquer, já as adições variam de acordo com o tipo do cimento. O clínquer é um material granular e rígido, o qual pode ser considerado um pó homogêneo composto de calcário e argila. Após a extração das matérias-primas, as rochas calcárias passam pelo processo de britagem e trituração, para assim ficarem com uma granulometria similar ao da argila e poderem ser misturados e se tornarem homogêneos. Esta mistura obtida passa-se pelo processo de queima, através de fornos rotativos, e após a passagem pelo forno, este material é bruscamente resfriado para que sua estrutura seja estabilizada. Com isso, ele é novamente triturado para se obter um pó.

Para a fabricação dos tijolos foi utilizado o cimento CP V – ARI ULTRA, da marca VOTORAN, pois este é adicionado apenas uma pequena quantidade de material carbonático em sua composição.

Além de escolher este cimento por não haver grandes adições, este tipo possui uma alta resistência inicial, o que permite um processo de cura e desenforme mais rápido, comparado aos outros. Outra vantagem da utilização deste tipo de cimento é o seu fácil acesso no mercado, sendo encontrado facilmente em qualquer loja de materiais de construção.

O cimento tem a função de estabilizar a terra comprimida, ou seja, fazer com que o tijolo ecológico fique mais rígido, resistente, durável e seguro. O mesmo serve como material ligante, no intuito de quando o tijolo estiver exposto aos agentes externos, como umidade e chuva, o solo não se desagregue, e permaneça compacto.

• **Polímero como Aditivo – Suas características e propriedades**

Em busca de um material que agregasse ao tijolo ecológico, sendo benéfico e não aumentando o seu custo financeiro, foi escolhido adicionar no traço do Tijolo Solo Cimento o polímero PET, por ser um material de fácil acesso e encontrado em grande escala, além de possuir inúmeros benefícios para esta utilização. Sendo estes, facilidade ao manusear e ao mesmo tempo possuir uma boa rigidez e ductilidade.

Esse polímero tem uma densidade baixa, comparado ao cimento, sendo capaz de reduzir o peso final do tijolo, conseqüentemente, aliviando os esforços de compressão e podendo, portanto, realizar uma fundação com menor quantidade de aço. Além disso, por ser um material com alta plasticidade, possui uma boa resistência a fluência, esperando que o tijolo obtenha uma resistência característica maior, evitando assim o rompimento com facilidade, e a manifestação de grandes fissuras. Segundo catálogo Sonelastic o módulo de elasticidade varia entre 2,76 GPa e 4,14 GPa.

Os polímeros estão presentes em quase todos os produtos que utilizamos. O primeiro PET foi desenvolvido por uma empresa britânica em 1941. Ao final da Segunda Guerra Mundial, foram realizados estudos em laboratórios da Europa e dos Estados Unidos para sua aplicação, principalmente na indústria têxtil. No campo das embalagens, só começou a ser aplicado na década de 1960; no Brasil, apenas em 1993.

O PET é um polímero de condensação sintético que tem como principal característica ser um termoplástico, ou seja, um tipo de polímero que pode ser remodelado por aquecimento seguido de resfriamento. É um poliéster porque vem da interação de ácidos policarboxílicos e poliálcoois.

O PET, como qualquer polímero, é formado a partir de uma reação química chamada reação de polimerização, na qual várias unidades monoméricas interagem entre si para formar a macromolécula. A polimerização por condensação para formar PET envolve ácido tereftálico e etilenolol.

Para formar PET, o ácido reage com etilenoglicol na presença de calor. Durante a reação, cada hidroxila do etilenoglicol interage com o hidrogênio nas carboxilas do ácido, formando duas águas.

Finalmente, um dos carbonos do etilenoglicol interage com o oxigênio de uma carboxila do ácido, o outro carbono no etilenoglicol interage com o oxigênio da carboxila de outro ácido, e assim em diante. Com efeito, em cada unidade de PET, temos a presença de ligações que ligam outras unidades do polímero.

A utilização do polímero PET em larga escala deve-se a características muito interessantes, por ser transparente, inquebrável, impermeável e leve. Ele pode ser encontrado em muitos exemplos de materiais que usamos em nosso dia a dia.

• **Proveniência do material**

O solo a ser utilizado no ensaio será extraído próximo das dependências da Universidade São Francisco, em Bragança Paulista, tendo suas propriedades analisadas, sendo refinado os grãos passando na peneira de 4,8 mm. É necessário que o solo não tenha a presença de material orgânico, para isso, ocorre o descarte do primeiro metro de solo.

Com relação ao cimento, utilizamos o cimento CP V – ARI ULTRA, fabricado pela VOTORAN, por ser um cimento de alta produtividade, não é acrescentado outros elementos em sua composição, como também por fornecer uma secagem rápida e alta resistência inicial.

Já o polímero PET utilizamos material extraído de garrafas PET recicladas e trituradas. Estas serão adquiridos triturados, tendo uma granulometria baixa, para que se incorpore bem a mistura de solo cimento.

Resultados e Discussão

Em um primeiro momento foi realizada a coleta do solo de um terreno localizado próximo a Universidade São Francisco, com o intuito de obter o solo sem resíduos de matéria orgânica, realizando o descarte dos primeiros 100cm do terreno e começado a extração após este corte.

Como também para seguir a formulação inicial do tijolo solo cimento foi adquirido cimento CP V – ARI ULTRA.

E adquirimos também o pet triturado para ser realizado o experimento de adição e ou substituição dos componentes iniciais do tijolo.

Figura 4 – Foto dos materiais utilizados para o desenvolvimento dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor e Votorantim cimentos.

No Centro Tecnológico, da Universidade São Francisco, utilizamos o laboratório de Práticas de Construção Civil para realizar o experimento. O primeiro passo foi peneirar o solo, afim de obter uma uniformidade nos grãos, utilizando a peneira 200mm, dos quais grãos com maior gramatura foram descartados e devolvidos ao local de coleta.

Após obter o solo a ser utilizado, o mesmo foi pesado e misturado na proporção ideal com o cimento e água, afim de se realizar a amostra do tijolo solo cimento padrão, sendo está na proporção de 7 partes de solo para 1 parte de cimento, ou seja, 87,5% de solo para 12,5% de cimento, para então ser possível realizar estudos comparativos de resistência das diferentes proporções a serem amostradas.

Figura 5 – Foto do solo peneirado



Fonte: Próprio autor.

Para a execução do experimento, de acordo com a NBR 10833/1989, necessitaríamos de um equipamento apropriado, para a realização do tijolo solo cimento, a prensa de

compressão, a qual é um equipamento de alto custo, desta forma, realizamos o ensaio modificado, utilizamos as amostras de corpos de prova com altura de 4,5 cm, o que se aproxima da altura de um tijolo.

Para a realização da compactação dos corpos de prova utilizamos o soquete elétrico Marshall, o qual possui um contador programável para a quantidade de números de golpes, sendo possível assim ter o mesmo parâmetro de golpes e peso em todos os corpos de prova.

Figura 6 e 7 – Modelo da máquina utilizada para a compactação e Foto do corpo de prova após compactação.



Fonte: Catálogo Solotest e Próprio autor.

Para o estudo das diferentes proporções do traço do tijolo moldamos 5 amostras de corpos de prova, sendo um conjunto de amostras de referência, denominada n°1, e outros quatro conjuntos de amostras com traços distintos, contendo três corpos de prova de cada, com o intuito de obter o melhor traço com a substituição ou adição do polímero PET na sua composição inicial.

Os conjuntos de amostras com os traços escolhidos para serem realizados foram:

Amostra n° 1 - 7:1 (87,5% de solo e 12,5% de cimento), considerada a amostra de referência por não ter sido alterada e tendo em sua composição padrão para a fabricação de um tijolo solo cimento;

Amostra n° 2 - 6:1:1 (75% de solo, 12,5% de cimento e 12,5% de PET), proporção a qual foi substituído parte do solo - 12,5%, pelo polímero PET.

Amostra n° 3 - 7:1/2:1 (82% de solo, 6% de cimento e 12,5% de PET), proporção a qual foi substituído parte do solo - 5% e substituído 50% do cimento, referentes ao traço inicial, acrescentado uma porção do polímero PET de 12,5% do volume inicial do corpo de prova.

Amostra n° 4 - 7:1:1 (78% de solo, 11% de cimento e 11% de PET), proporção a qual foi acrescentado uma porção do polímero PET.

Amostra n° 5 - 7:1/2:2 (74% de solo, 5% de cimento e 21% de PET), proporção a qual foi retirado 50% do cimento e acrescentado duas porções do polímero PET.

Estes traços foram escolhidos para serem estudados, considerando o comportamento do corpo de prova quando substituído ou acrescentado agregado PET, aos componentes iniciais do tijolo solo cimento. A princípio a hipótese foi a de substituir o aglomerante cimento, com um intuito mais sustentável, porém, devido a função ligante do concreto, este não poderia ser reduzido drasticamente. Com isso criamos proporções que reduzissem a quantidade de solo e cimento proporcionalmente, como também amostras as quais não foram alteradas as proporções de um dos materiais iniciais.

Figura 8 – Foto dos corpos de prova compactados



Fonte: Próprio autor.

Após moldar os corpos de prova, estes foram reservados aguardando o tempo de secagem do material, necessário para atingir a cura do composto solo-cimento de 28 dias, para assim ser realizado o rompimento e a obtenção da resistência característica de cada traço. Neste tempo de espera foram realizadas pesquisas para identificar a resistência característica mínima prevista por norma.

Segundo a ABNT NBR 8492/2012, a amostra ensaiada “não pode apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 Mpa (kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7Mpa (17kgf/cm²), com idade mínima de sete dias”.

No vigésimo nono dia, rompemos os corpos de prova, utilizando o ensaio de compressão, através do equipamento universal para testes de compressão. As amostras foram colocadas centralizadas diretamente sobre o prato inferior da máquina universal. Foi então realizada a aplicação da carga uniformemente com um peso de 50kgf/s, como é especificado na norma NBR 10836/2015, sendo aumentada a carga gradativamente até o rompimento.

Foram desenvolvidas três amostras de cada traço, sendo descartada a resistência a qual tinha o maior desvio padrão, ficando apenas com duas amostras para ser analisada. Como mostra na tabela abaixo.

Tabela 1 – Relação: traço, resistência (Corpos de prova da composição do tijolo solo cimento com PET).

Amostra	Traço	Proporções			Resistência da amostra 1 (Mpa)	Resistência da amostra 2 (Mpa)	Resistência Média das amostras (MPa)
		Solo	Cimento	PET			
1	7:1	87,5%	12,5%	-	8,87	7,18	8,025
2	6:1:1	75,0%	12,5%	12,5%	5,65	5,57	5,61
3	7:1/5:1	82,0%	6,0%	12,5%	4,06	3,27	3,665
4	7:1:1	78,0%	11,0%	11,0%	5,01	5,83	5,42
5	7:1/5:2	74,0%	5,0%	21,0%	5,22	6,05	5,635

Fonte: Próprio autor.

Analisando a tabela acima, a amostra n° 1, a qual possui 87,5% de solo e 12,5% de cimento, consideramos como amostra de referência, pois não há alteração em sua construção, mantidas as proporções, de acordo com as normas de fabricação de tijolo solo-cimento. As demais amostras foram alteradas, de acordo com as proporções indicadas em porcentagem de material, onde foi possível identificar que o acréscimo do agregado polímero PET ocasiona uma perda de resistência, em torno de 30%. Verificamos que as amostras n° 2 e n° 4, onde foram mantidas as proporções maiores de aglomerante, o cimento, a resistência foi praticamente a mesma, ou seja, amostra n° 2 – 5,61 Mpa e amostra n° 4 – 5,41 Mpa, com uma diferença entre estes dois resultados de apenas 3,57% da resistência ensaiada, já com a amostra n° 3, onde houve uma maior substituição do cimento, a resistência encontrada foi a

menor dos comparativos, 3,665 MPa, entendemos que o cimento, na composição do tijolo ecológico, tem a função de aglomerante e também irá proporcionar ganho de resistência ao conjunto ensaiado, pois, o solo é o material que irá ser a base, tendo seus índices de vazios, preenchidos pelo aglomerante. Neste caso, o PET teria a função de dar suporte resistindo as ações de compressão, como possui modulo de elasticidade alta, comparando com o solo, consideramos, entretanto, que a adição elevaria a capacidade de suporte do composto solo-cimento. Desta forma, em sua composição, apontada na tabela 1 amostra de nº 5, consideramos uma diminuição significativa das proporções de solo e de cimento com adição de 21% de PET, resultando numa resistência à compressão de 5,635 MPa, apresentando assim, um resultado relevante se tratando em uma substituição sustentável ecologicamente. Apesar das amostras ficarem em torno de 29,78% abaixo da resistência da amostra de referência, o que se apresenta como inviável do ponto de vista estrutural em uma construção com esta tecnologia, entretanto, de acordo com a ABNT NBR 8492/2012, cujos indicativos de resistência estão abaixo dos valores encontrado nos ensaios, a substituição da composição do tijolo solo cimento, ainda pode ser uma opção viável e uma alternativa mais sustentável, por estar sendo substituído uma parte do cimento, o qual gera gases poluentes ao meio ambiente em seu processo de fabricação, por um agregado, o polímero PET, que é descartado.

Tabela 2 – Relação: traço, custo (Corpos de prova da composição do tijolo solo cimento com PET).

Amostra	Traço	Proporções			Redução de Custo em relação ao traço base (%)
		Solo	Cimento	PET	
1	7:1	87,5%	12,5%	0%	Referência
2	6:1:1	75,0%	12,5%	12,5%	Não houve
3	7:1/2:1	82,0%	6,0%	12,5%	32,67%
4	7:1:1	78,0%	11,0%	11,0%	Não houve
5	7:1/2:2	74,0%	5,0%	21,0%	18,42%

Fonte: Próprio autor.

Dentre as opções estudadas, todas estariam dentro do permitido pela norma NBR 8492/2012, a qual indica a resistência mínima permitida para tijolos de solo cimento, porém escolheríamos a amostra que obtém uma maior resistência, juntamente com um melhor custo benefício, sendo a amostra nº 5, cujo traço é de 7 partes de solo (74%), ½ parte de cimento (5%) e 2 partes de PET (21%). Neste caso, a substituição de cimento pelo PET, em torno de 7,5%, gerou uma diminuição no custo de 18,42%, porém, ocasionando uma diminuição de 29,78% na resistência inicial do tijolo solo cimento padrão.

Conclusões

Com análise dos diversos traços de tijolo solo cimento, adicionando resíduos do polímero PET, observamos que a sua resistência teve um decréscimo, porém essa perda, de aproximadamente 30%, se enquadra dentro da resistência permitida por norma, para tijolos de solo cimento. Essa perda na resistência pode ser prejudicial em casos de utilização do tijolo, para grandes demandas do mesmo, em funções estruturais. Em contrapartida, é benéfico por estar sendo adicionado resíduos de um polímero que é descartado, como também a redução de emissão de gases poluentes no meio ambiente, isso sendo possível pela redução de 50% de cimento na composição do traço proposto, considerando em nossa amostra de nº 5, sendo ele 7 partes de solo (74%) para 1/2 parte de cimento (5%) para 1 partes de PET triturado (21%).

Segundo os estudos realizados, conseguimos obter também uma diminuição significativa no custo da produção desse material, ao se fazer a mudança no traço existente com o PET conseguimos uma redução de 18,42% para a produção do mesmo. Vale ressaltar que o comparativo de custos foi focado nos materiais que são utilizados para a produção do

tijolo solo cimento, tendo como base o já existente, não tendo sido considerado o custo de equipamento e de produção.

Portanto a reutilização do polímero PET apresenta uma excelente alternativa, no ponto de vista ambiental, para a redução dos resíduos em aterros sanitários, como também redução dos impactos ambientais gerados na fabricação do cimento. Porém para casos em que sua função seja estrutural necessitará de estudos para realizar um maior reforço em seus grautes, pois a resistência do mesmo é inferior à de um tijolo ecológico comum.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter nos proporcionado concluir todo esse trabalho. Aos nossos pais por toda a dedicação e incentivo para que nós pudéssemos lutar e vencer cada obstáculo durante esses anos.

Agradecemos também aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, em especial nosso coordenador/orientador Marcelo Silva. Agradecemos também a nossa instituição por ter nos proporcionado à chance e todas as ferramentas que nos permitiram chegar até aqui.

Agradecemos de coração todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da nossa vida.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024:2012: Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento.**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836:2013: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2016: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.**

CASTRO, Antonio. SAMUEL, Andressa Quimquim. KEPP, Gabriel Braun. SANTOS, Juliana Freitas. JACOBSEN, Karina Raasch. GRONER, Luna Laurett. **A construção civil e seus impactos ambientais: uma análise sobre a possibilidade do uso de tijolos ecológicos para redução da produção de resíduos.** Disponível em: revistaea.org/artigo.php?idartigo=3216

FIAIS, Bruna Barbosa. SOUZA, Danilo Sarto de. **Construção sustentável com tijolo ecológico.** Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/viewFile/2559/154>

JUNIOR, João B. dos Santos. MACÊDO, Laís Alves de. CORREA, Manoel Carlos Felix. SANTOS, Pedro Henrique. NETO, Walter M. Junior. LEITE, Manuela Souza. ARAUJO, Paulo Jardel Pereira. **Utilização de garrafas PET na confecção de tijolos.** Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/download/246/125>

NASCIMENTO, Álvaro M. do. FEITOSA, Alan de O. ALMEIDA, Thiago da S. LACERDA, Diego M. de. **Tijolo Modular de Solo-cimento como material na construção civil.** Vol. 6, N°1, 2018. Disponível em:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IaCDcf16ZgJ:https://periodicos.unipe.br/index.php/intercincia/article/download/645/527+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>

SANTOS, Marcos dos. NASCIMENTO, Priscila F. do. JUNIOR, Luiz Rodrigues. REIS, Marcone F. dos Reis. WALKER, Rubens Aguiar. **Utilização de garrafas PET na produção de tijolos de concreto: Uma proposta sustentável para a indústria da construção civil.** Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/222556.pdf>

SILVA, Fábio H. Rodrigues Ferreira e. OLIVEIRA, Célio Honorato de. **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil.** Disponível em: http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos_up/documentos/8b9d51630665c0b519f6be0fc2663b7e.pdf

SOUZA, Adriano de. PICCOLI, Pedro H. de Melo. ASSIS, Rita de Cássia T. **A utilização do tijolo ecológico na construção de baixo custo: uma opção viável para casas populares.** Disponível em: <https://favetr.univertix.net/wp-content/uploads/2020/01/Art-Pedro-Piccoli-EngCivil.pdf>

WEBER, Eduardo. CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de. BORGA, Tiago. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na Construção civil.** Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Zfee3QIMDQYJ>