

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA
BAHIA, CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA**

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GIANLUCA NASCIMENTO FELIX DE ARAUJO

**APLICABILIDADE DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PARA CONSTRUÇÕES
SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO RESÍDUOS DE ISOPOR TRITURADOS E O PÓ
DE VIDRO.**

Vitória da Conquista
Fevereiro de 2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA,
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA.**

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**APLICABILIDADE DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PARA CONSTRUÇÕES
SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO RESÍDUOS DE ISOPOR TRITURADOS E O PÓ
DE VIDRO.**

Gianluca Nascimento Felix de Araujo

Trabalho de Conclusão de Curso encaminhado para apreciação do Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista como requisito parcial para obtenção do Título de Engenharia Ambiental.

Orientadora: Gleide Nascimento Azevedo

Vitória da Conquista

Fevereiro de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

A663 Nascimento Felix de Araujo, Gianluca

Aplicabilidade de tijolos ecológicos para construções sustentáveis utilizando resíduos de isopor triturados e o pó de vidro: / Gianluca Nascimento Felix de Araujo; orientadora Gleide Nascimento Azevedo -- Vitória da Conquista : IFBA, 2024.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Tijolo Ecológico. 2. Vidro. 3. Isopor. 4. Reaproveitamento. I. Nascimento Azevedo, Gleide, orient. II. TÍTULO.

CDD/CDU

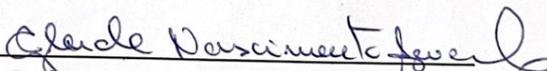
GIANLUCA NASCIMENTO FELIX DE BRITO

**APLICABILIDADE DE TIJOLOS ECOLÓGICOS PARA CONSTRUÇÕES
SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO RESÍDUOS DE ISOPOR TRITURADOS
E PÓ DE VIDRO: FABRICAÇÃO DE UM PROTÓTIPO NA CIDADE DE
VITÓRIA DA CONQUISTA - BA**

A presente Monografia, apresentada em sessão pública realizada em vinte e oito de fevereiro de 2024, foi avaliada como adequada para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, julgada e aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

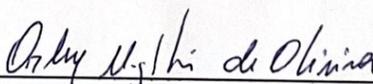
Data da Aprovação: 28 de fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA



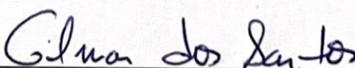
Prof.ª Msc. Gleide Nascimento Azevedo

Orientadora – IFBA Campus Vitória da Conquista



Prof. Dr Orley Magalhães de Oliveira

IFBA Campus Vitória da Conquista



Prof. Msc. Gilmar dos Santos

IFBA Campus Vitória da Conquista

Vitória da Conquista, 28 de fevereiro de 2024

AGRADECIMENTOS

É chegada a hora! Foram longos anos! Anos esses de foco, superações, provações, desafios e acima de tudo realização.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me guiado e abençoado todos esses anos. Agradecer veemente a todos que estiveram ao meu lado, e que de alguma forma puderam me ajudar e somar na minha formação.

Obrigado a minha avó Laura, dedico este momento a senhora, seu amor e apoio foram meu alicerce.

À meus pais Edmilson e Valdelice, que sem sombra de dúvida estiveram constantemente me ajudando de todas as formas possíveis.

Aos meus irmãos Enzo e Louise que sonharam comigo todo esse tempo.

Às minhas tias, meus tios, primas e primos pelo incentivo e pelas palavras de encorajamento. Em especial a minha madrinha Valdeide (Dinha), por toda ajuda, apoio e conselhos em tudo que precisei.

Agradeço aos amigos que fiz durante essa caminhada na graduação e aos meus grandes amigos que antes de começar essa jornada já estavam comigo.

À minha namorada Gabriela, pelo companheirismo, paciência e dedicação nos momentos que precisei.

À professora Gleide Azevedo, pela paciência, dedicação e disponibilidade na orientação.

Agradeço ao IFBA campus Vitória da Conquista, tanto na minha formação pessoal, quanto na profissional, e a cada um dos professores pelas oportunidades e os conhecimentos que compartilharam comigo, acadêmicos e de mundo. Agradeço a todo o suporte que obtive da instituição para a concretização dos meus sonhos.

Obrigado a todos pela participação que tiveram nessa trajetória, agora serão outras que estarão por vir.

A caminhada foi longa e chegamos na reta final, agora sim, Engenheiro Ambiental Gianluca Felix.

E, VAI CORINTHIANS!!

“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.”
(Aldous Huxley)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes da mistura de solo- cimento.....	12
Figura 2 – Tijolos ecológicos coloridos feitos com resíduos plásticos encontrados no oceano.....	14
Figura 3 – Tijolos ecológicos com reciclagem de pneus.....	14
Figura 4 – Tijolos ecológicos com garrafa pet.....	15
Figura 5 – Fluxograma para o processo de reciclagem.....	17
Figura 6 – Poliestireno expandido.....	18
Figura 7 – Características do poliestireno expandido.....	18
Figura 8 – Processo produtivo do EPS.....	19
Figura 9 – Componentes químicos do vidro.....	22
Figura 10 – Resistência mecânica do vidro.....	22
Figura 11 – Características exigíveis para o EPS.....	26
Figura 12 – Isopor EPS utilizado para fabricação do tijolo vidro-isopor.....	29
Figura 13 – Vidro utilizado na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	29
Figura 14 – Cimento utilizado na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	30
Figura 15 – Misturador de argamassa utilizado na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	31
Figura 16 – Moinho de jarra utilizado na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	31
Figura 17 – Prensa hidráulica utilizada na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	32
Figura 18 – Agitador de peneira utilizada na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	32
Figura 19 - Balança de precisão utilizada na fabricação do tijolo vidro-isopor.....	33
Figura 20 – Peneiras de 150 μ m, 300 μ m e fundo.....	35
Figura 21 – Pó de vidro.....	35
Figura 22 – Peneira de 6,35 mm.....	36
Figura 23 – Isopor triturado.....	36
Figura 24 – Modelo de CP.....	37
Figura 25 – Massa recém-feita.....	37
Figura 26 – CP submersos em cura.....	38
Figura 27– Processo de capeamento dos CP.....	39
Figura 28 – Corpos de prova rompidos.....	40
Figura 29 – Forma de moldagem do tijolo ecológico.....	44
Figura 30 – Tijolo Ecológico Vidro-isopor.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos aplicados para fabricação do tijolo vidro-isopor.....	34
Tabela 2 – Teste de absorção tijolo vidro-isopor.....	41
Tabela 3 – Teste de resistência tijolo vidro-isopor.....	42
Tabela 4 – Modelos e seus respectivos traços do tijolo vidro-isopor.....	43
Tabela 5 - Quantidade de materiais em uma unidade do tijolo.....	45
Tabela 6 - Valores de compra.....	45
Tabela 7 – Gastos por unidade do tijolo.....	46
Tabela 8 – Resistencia e Absorção de tijolos em VCA.....	46
Tabela 9 – Preço do milheiro dos tijolos.....	47

RESUMO

Atualmente, devido à intensa degradação ambiental, os pesquisadores estão em busca de desenvolver novas técnicas que permitam a otimização dos recursos escassos, a redução de custos e o emprego de produtos com menor geração de resíduos e baixa emissão de poluentes. Na busca de minorar os impactos ambientais provocados pela construção civil, surge a ideia da construção sustentável e, uma das alternativas, seria a utilização do tijolo ecológico. O tijolo ecológico, também conhecido como tijolo de solo-cimento, incorpora todas essas premissas, apresentando-se como uma alternativa para mitigar a escassez habitacional e isso se deve ao seu menor custo de fabricação e à facilidade de execução, dispensando a necessidade de mão de obra altamente qualificada. Entretanto, este estudo propõe o desenvolvimento de um tijolo ecológico não-convencional, com a utilização de vidro e isopor, que são resíduos industriais considerados 100% recicláveis em sua composição. Este estudo foi elaborado primeiramente através de pesquisas bibliográficas em relação a composição do vidro e do isopor, em que suas características granulométricas estavam de acordo com as normas ABNT NBR - 10832/2013, ABNT NBR -8491/2012 e ABNT NBR - 8492/2012. Todo o processo prático foi realizado no laboratório de concreto armado do Instituto Federal da Bahia – IFBA, que contava com todo material preciso: misturador de argamassa, moinho de jarro, prensa hidráulica, agitador de peneira e balança de precisão. Foram realizados alguns ensaios com Corpos de Prova – CP compostos pelos 6 modelos criados, com diferentes traços, e estes foram submetidos a teste de resistência à compressão e absorção de água. O teste de absorção de água foi realizado através de um processo chamado “cura” em que, os CP são submetidos a submersão em água durante 7 dias, secagem em estufa e pesagem; a resistência dos CP foram testados através da prensa hidráulica em que o resultado obtido era na unidade de medida MPa, e dessa forma era possível fazer suas comparações com a NBR 8492/2012. Todos os dados obtidos foram tabulados para análise da conclusão de que dentre os modelos propostos, todos eles obtiveram resultados adequados ao da norma estabelecida, em destaque o modelo 2, com traço 6:1, que obteve um resultado muito superior de resistência e absorção. Em relação a viabilidade econômica o tijolo ecológico vidro-isopor obteve um valor unitário de R\$ 0,88 e um milheiro de R\$ 880,00, onde também foi calculado para poder ser vendido com uma margem de lucro de 50% e 100% atingindo os valores respectivamente de R\$ 1320,00 e R\$ 1760,00. Em comparação ao preço dos tijolos convencionais de Vitória da Conquista – Ba e região, o tijolo vidro-isopor conforme o preço que foi calculado, o torna competitivo para o mercado com outros tijolos. Para projetos futuros têm-se a proposta de desenvolver um tijolo vidro-isopor de 6 furos e 8 furos, por possuírem uma economia de material em seus modelos. Também é importante realizar outros testes no tijolo ecológico, como o de isolamento térmico e isolamento acústico.

Palavras-chave: Tijolo Ecológico; Vidro; Isopor.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivos Específicos	9
3. HIPÓTESE	9
4. REFERENCIAL TEÓRICO	9
4.1 TIJOLO ECOLÓGICO	9
4.2 TIPOS E COMPOSIÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO: Solo-cimento.	11
4.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS	12
4.4 O ISOPOR.....	15
4.6 COMPOSIÇÃO DO PÓ DE VIDRO NO AGREGADO.....	22
4.7 COMPOSIÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (ISOPOR) NO AGREGADO.....	24
4.8 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA TIJOLOS ECOLÓGICOS	26
5. METODOLOGIA	27
5.1 Uso do Isopor	27
5.2 Uso do Vidro	28
5.3 Cimento	29
5.4 Água	30
5.5 Máquinas e Ferramentas utilizadas na fabricação	30
5.6 Normatização a ser atendida	33
5.7 Fabricação do tijolo ecológico	34
5.8 Processo de Cura	38
5.9 Teste de absorção	38
5.10 Capeamento	39
5.11 Teste de resistência.....	39
6. RESULTADOS	40
6.1 Resultado do teste de absorção.....	40
6.2 Resultado do teste de resistência	42
6.3 Viabilidade ambiental e econômica.	45
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o crescimento econômico e populacional tem levado a uma demanda cada vez maior por construções residenciais e comerciais. No entanto, esse aumento na construção civil também está associado a diversos desafios ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa, a exploração indiscriminada de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos.

O tijolo, como um dos principais elementos estruturais das edificações, desempenha um papel significativo nesse cenário. O uso tradicional de tijolos de cerâmica e concreto tem contribuído para a degradação ambiental devido aos altos consumos de energia e recursos naturais em sua produção, além da geração de resíduos e emissões de poluentes.

O Ministério do Meio Ambiente – MMA (2019) aponta o setor da construção como a atividade humana que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais, desde a extração de matérias-primas, até o final da vida útil da construção. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção.

Além disso, até bem pouco tempo atrás o setor não demonstrava muita preocupação com os custos e prejuízos causados pelo desperdício de materiais e o destino dado aos rejeitos produzidos nesta atividade. E assim é indiscutível a importância da busca por arquiteturas mais sustentáveis, pois os recursos do planeta são finitos e o crescimento da população e de suas atividades têm gerado há séculos grandes violências contra o meio ambiente (PISANI, 2005).

Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis e ecologicamente conscientes torna-se crucial para minimizar o impacto negativo da indústria da construção no meio ambiente, surge a ideia da construção sustentável e uma das alternativas seria a utilização do tijolo ecológico. Os tijolos ecológicos são caracterizados por seu baixo impacto ambiental, além disso, a adoção pode influenciar positivamente o desempenho térmico e acústico das edificações, contribuindo para um ambiente construído mais eficiente e confortável.

Diante dessas considerações, este estudo propõe explorar o desenvolvimento de um tijolo com a utilização de vidro e isopor de resíduos industriais e reciclados em sua composição, mostrando suas características, vantagens e desafios associados à sua produção e utilização. Portanto, isso seria uma alternativa para a grande quantidade de vidro e isopor descartada atualmente, pois conforme Nogueira *et al* (2021) cerca de 51% de vidro e 92,6% de isopor não recebem a destinação final correta e são despejados na natureza.

Por meio dessa análise, espera-se oferecer insights relevantes para profissionais da construção civil, pesquisadores e tomadores de decisão, com o intuito de promover a adoção mais ampla de práticas construtivas alinhadas com princípios de sustentabilidade ambiental, buscar um melhor reaproveitamento, menor quantidade de materiais e

consequentemente gerando um menor custo final. Em paralelo, espera-se que o tijolo seja eficiente pois o modelo de encaixe vai permitir o desenvolvimento e construção de casas em tempo inferior ao apresentado atualmente na construção tradicional.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse projeto é fabricar um protótipo de tijolo ecológico através do reaproveitamento dos resíduos de vidro e isopor na cidade de Vitória da Conquista-Bahia.

2.1 Objetivos Específicos

- Analisar as propriedades do vidro e do isopor como agregado para tijolos ecológicos, sob as propriedades de resistência mecânica e absorção de água, em conformidade com as normas ABNT NBR-10832/2013, ABNT NBR – 8491/2012, ABNT NBR – 8492/2012.
- Estabelecer o melhor traço quanto a resistência à compressão e ao cisalhamento do tijolo ecológico.
- Analisar a viabilidade ambiental e econômica do protótipo de tijolo ecológico proposto.

3. HIPÓTESE

A pesquisa buscará apresentar um protótipo de tijolo ecológico, feito a partir de resíduos de vidro e isopor da região de Vitória da Conquista. Essa produção será economicamente mais viável que outros tipos de tijolos convencionais e será uma nova via para construção civil na cidade, além de possibilitar valores de resistência e absorção equivalentes ou superiores aos demais tijolos.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 TIJOLO ECOLÓGICO

Há muita controvérsia sobre o início do uso do tijolo ecológico. Um dos relatos mais antigos sobre o uso de solo estabilizado para construção data do século III, a Muralha da China, que utilizava uma mistura de argila e cal na proporção de 3:7. Atualmente, essa tecnologia tem sido utilizada em outros tipos de trabalho. Segundo a Escola de Pós-Graduação Alberto Luís de Coimbra (BAUER, 1995, p. 695):

O solo como material de construção tem sido utilizado há pelo menos dez mil anos, sendo registrado em culturas antigas como a grega e a romana. Algumas destas obras resistem ao tempo, conservando sua qualidade estética e principalmente, sua qualidade estrutural. O uso de aglomerantes hidráulicos como estabilizador de solo, para construções, só ocorre mais tarde, uma vez que esse tipo de aglomerante só foi descoberto por volta de 1800.

A construção mais antiga registrada, a da pirâmide Queóps, no Egito, erguida por volta de 2.600 anos a.C. Essa técnica empregada foi derivada de recursos naturais, nos quais utilizavam conchas de moluscos e as trituravam. Posteriormente, combinavam as conchas trituradas com óleo de baleia e terra. Ao unir esses três materiais, aplicavam água por cima, formando uma extensa massa. Após completar todo esse procedimento e obter uma massa homogênea, moldavam blocos de 2 metros por 1 metro, transformando-os em milhares de unidades. (BIOBLOC, 2021)

Conforme informações da Associação de Cimento e Concreto, o solo-cimento foi descoberto pelo engenheiro britânico H.E. Brook-Bradley, que o empregou no tratamento do leito de estradas e trilhos no sul da Inglaterra. Nos Estados Unidos, o uso do solo-cimento remonta a 1917, quando o engenheiro T.H. Amies utilizava esse material na época, dando-lhe o nome de soloamies (BAUER, 1995).

Os primeiros estudos em larga escala sobre solo-cimento foram conduzidos por Moore-Fields e Mill nos Estados Unidos em 1932. Em 1944, a American Society for Testing Materials (ASTM) padronizou os testes, sendo seguida por outras entidades como a American Association of State Highway Officials (AASHO) e a Portland Cement Association (PCA). No Brasil, em 1945, foi erguida a primeira estrutura em solo-cimento registrada, uma casa de bombas para abastecer as obras do aeroporto de Santarém, Pará, com 42 m² (BAUER, 1995). Cidades brasileiras como Ouro Preto, Diamantina e Paraty têm uma história que abrange quatro séculos, evidenciando o uso extensivo de taipa-de-pilão, adobe, taipa-de-sopapo ou pau-a-pique. Assim, o solo sempre fez parte do patrimônio cultural construtivo do Brasil (BAUER, 1995).

No Brasil, a partir de 1960, o solo-cimento passa a ser objeto de estudos mais aprofundados, marcando o início de uma extensa série de pesquisas e estudos científicos. Dentre as principais instituições encarregadas de promover e disseminar essas pesquisas, destacam-se o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e a ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

Para se ter uma ideia da sua eficácia na preservação do meio ambiente, de acordo com a ANITECO (Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico) a produção de 1.000 tijolos ecológicos economiza de 7 a 12 árvores de médio porte, quando comparado ao bloco cerâmico.

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de usar resíduos como adição dessa mistura. Materiais como granito, caulim, casca de banana, restos de vegetais, resíduos de aterros sanitários, bagaço de cana-de-açúcar, pó de serra, borracha, além dos resíduos da construção civil, das indústrias petroquímicas e siderúrgicas e da mineração. Além disso,

muitos tijolos ecológicos proporcionam um ambiente interno mais saudável devido à regulação da umidade e à minimização da toxicidade. (GASPAR, 2020)

Segundo estudos realizados em todo o Brasil, o sistema construtivo dos tijolos ecológicos traz para a obra, de 20 até 40% de economia com relação ao sistema construtivo convencional. Um dos motivos é que não há desperdício, como neste último. Cerca de 290,5 toneladas de entulho gerados diariamente no país, apenas 21% são reciclados. (FARIA, 2019)

4.2 TIPOS E COMPOSIÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO: Solo-cimento.

A fusão intrínseca entre o solo, o estabilizador químico cimento Portland e a água resulta na formação deste material denominado solo-cimento. De acordo com Enteiche (1963), isso configura um processo físico-químico que estabiliza e reorienta as partículas sólidas do solo, ocorrendo a deposição de emissões cimentantes nos contatos intergranulares. Esse aspecto, por conseguinte, altera a proporção relativa das três fases constituintes do solo (sólida, líquida e gasosa).

Bastos (2011) destaca que ao incorporar o cimento ao solo, suas partículas se envolvem, formando agregados que aumentam de tamanho à medida que ocorre a hidratação e cristalização do cimento. A introdução desse agente estabilizante no solo, combinada com a estabilização mecânica através da compactação, resulta em uma melhoria significativa nas propriedades iniciais do material em questão. Isso se traduz em um aumento da resistência, menor permeabilidade, menor suscetibilidade aos efeitos do intemperismo e capacidade aprimorada para suportar cargas de trabalho superiores em comparação ao que o solo poderia suportar por si só.

O solo-cimento é uma mistura bem balanceada de solo e um aglomerante hidráulico artificial denominado cimento, mais a água. O percentual de cimento é calculado com uma parte de cimento para oito de solo. É possível usar qualquer solo na composição do tijolo ecológico, menos a terra preta ou outra que tenha material orgânico. (CRUZ, 2020).

Conforme Nogueira (2021) o método consiste em estabilizar o solo através do cimento, melhorando assim o desempenho da mistura como mostra a Figura 1.

Figura 1: Componentes da mistura de solo-cimento



Fonte: Brick – Sahara, 2001.

A consideração do teor de cada componente granulométrico do solo desempenha um papel crucial na seleção do material mais adequado ao propósito desejado. No caso da produção de tijolos, é inconveniente que o solo exiba plasticidade e que seu limite de liquidez não ultrapasse valores excessivos, ficando preferencialmente abaixo de 40-45%. Quando o solo não está dentro da faixa desejada, é possível realizar ajustes na granulometria. Por exemplo, se o solo é argiloso, apresentando valores elevados de limite de liquidez e índice de plasticidade, é comum realizar a incorporação de areia para corresponder a essas características (BARBOSA, 2003).

Vários são os fatores que afetam as características do produto final, entre eles a quantidade de cimento, as propriedades do solo, o teor de umidade e a compactação ou prensagem. A coesão do solo-cimento é determinada pela composição do cimento, sua finura, quantidade de água e temperatura ambiente (PIRES, 2004).

A capacidade de empregar o solo local representa uma das principais vantagens do solo-cimento. Nessa composição, o solo é o componente predominante, buscando-se uma seleção que viabilize a utilização da quantidade mínima de cimento. Essa abordagem não apenas resulta em economia, mas também torna o solo uma opção viável em regiões com recursos limitados (BASTOS, 2011).

As impurezas que podem aparecer na água de mistura podem ser agressivas ao cimento (como por exemplo, sulfatos e matéria orgânica). As quantidades mais adequadas dos componentes são determinadas através dos ensaios de laboratórios ou ensaios solicitados de acordo com os tipos de solo e cimento a serem usados. Os ensaios de resistência à compressão podem ser executados em corpos de prova cilíndricos, ou ainda diretamente sobre tijolos (ou blocos) de solo-cimento (PIRES, 2004).

A norma NBR 8491 (ABNT, 1994) define o tijolo maciço de solo-cimento como um elemento cujo volume representa pelo menos 85% de seu volume total aparente. Ele é composto por uma mistura uniforme, compactada e duradoura, contendo solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos. As proporções desses componentes devem ser ajustadas de maneira a atender às especificações desta norma.

4.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

O reuso de resíduos envolve a ação de reintegração desses materiais, que de outra forma seriam descartados, no ciclo de consumo ou mesmo em processos industriais para a criação de novos produtos. Essa abordagem de reaproveitamento está se tornando proeminente nas indústrias, destacando-se pela geração de um modelo de negócio sustentável.

Conforme Cruz (2020), como o próprio nome diz, esse tipo de tijolo ecológico reaproveita resíduos que seriam descartados ou fibras naturais. Com o avanço da tecnologia, é possível cada vez mais tijolos ecológicos fabricados com materiais diversificados. Entre eles pode-se citar:

Figura 2: Tijolos ecológicos coloridos feitos com resíduos plásticos encontrados no oceano.



Fonte: Site sustentarqui.com (2021).

Figura 3: Tijolos ecológicos com reciclagem de pneu



Fonte: Site sustentarqui.com (2021).

Figura 4: Tijolos ecológicos com garrafa pet



Fonte: Site sustentarqui.com (2021).

Na prática, esses tijolos ecológicos ainda não são utilizados em larga escala na construção civil, mas seu uso pode ser feito em projetos de bioconstrução. (CRUZ, 2020)

Segundo Santos *et al.* (2014), o tijolo ecológico solo-cimento além de contribuir com o meio ambiente evitando a emissão de gases de efeito estufa, considerando o reaproveitamento de materiais vegetais descartáveis, terá grande contribuição para a economia do país, pois o produto é durável e resistente a altas temperaturas. Além de baixo custo e alta aplicabilidade na construção civil, também é resistente.

De acordo com Santana *et al.* (2013), é importante destacar que a cada 1.000 tijolos ecológicos produzidos, o equivalente a 2,5 m³ de entulho da construção civil acabará sendo incorporado ao processo de produção do tijolo, o que equivale à retirada de 150 m³ de entulho por mês.

Os benefícios de se utilizar produtos reciclados na composição do tijolo ecológico são os retornos referentes à aplicação na reciclagem, que podem ser economia de custos e o produto da venda de materiais reciclados. A economia de custos existe quando conseguimos diminuir os gastos com os materiais que compõem a construção de uma obra, a partir do melhor aproveitamento das matérias-primas e da eliminação das perdas (PAIVA, 2011).

No Brasil, apenas 4% dos resíduos sólidos passíveis de reciclagem são direcionados para esse processo, um índice significativamente inferior em comparação a países de renda semelhante e níveis de desenvolvimento econômico, como Chile, Argentina, África do Sul e Turquia, os quais registram uma média de 16% de reciclagem, conforme dados da International Solid Waste Association (ISWA).

Comparado aos países desenvolvidos, o Brasil enfrenta um caminho ainda mais extenso. Na Alemanha, por exemplo, o índice de reciclagem atinge 67%. (ABRELPE, 2022). De acordo com Silva Filho (2013) "o Brasil está 20 anos atrás desses países"

4.4 O ISOPOR

O poliestireno expandido, internacionalmente reconhecido pela sigla EPS, é comumente referido como Isopor, sendo esta última uma marca registrada. O EPS é um polímero obtido a partir do petróleo e resulta da polimerização do estireno, um derivado do petróleo, em água. Pertencente ao grupo dos termoplásticos, o EPS é composto principalmente por ar, sendo que apenas cerca de 2% do material constitui a matéria-prima propriamente dita (GROTE; SILVEIRA, 2002).

O isopor é classificado pela Norma ABNT NBR 10.004/2004 como resíduo pertencente à classe II B. No Brasil, na produção destaca-se o PET, PVC e PP (polipropileno) como os principais representantes (SPIMACÉ, PAOLI, 2005). Existem dois tipos de produtos técnicos que podem ser categorizados como isopor: o poliestireno expandido (EPS), utilizado na fabricação de caixas de acondicionamento e embalagens protetoras, e o poliestireno extrusado (XPS), uma espuma mais rígida especificamente empregada na produção de bandejas e copos (SANTOS, MANRICH, 2001).

Anualmente, cerca de 60 mil toneladas de isopor são produzidas. Apesar de ser completamente reciclável, apenas 7% dos brasileiros estão cientes desse fato, de que meramente 8,4% do isopor é efetivamente reciclado. (ABIVIDRO, 2017). Essa disparidade entre a produção volumosa e a taxa de reciclagem desses materiais ressalta a necessidade de ampliar a sensibilização sobre o potencial de reciclagem do vidro e do isopor e fomentar iniciativas que promovam uma abordagem mais sustentável em relação a esse material.

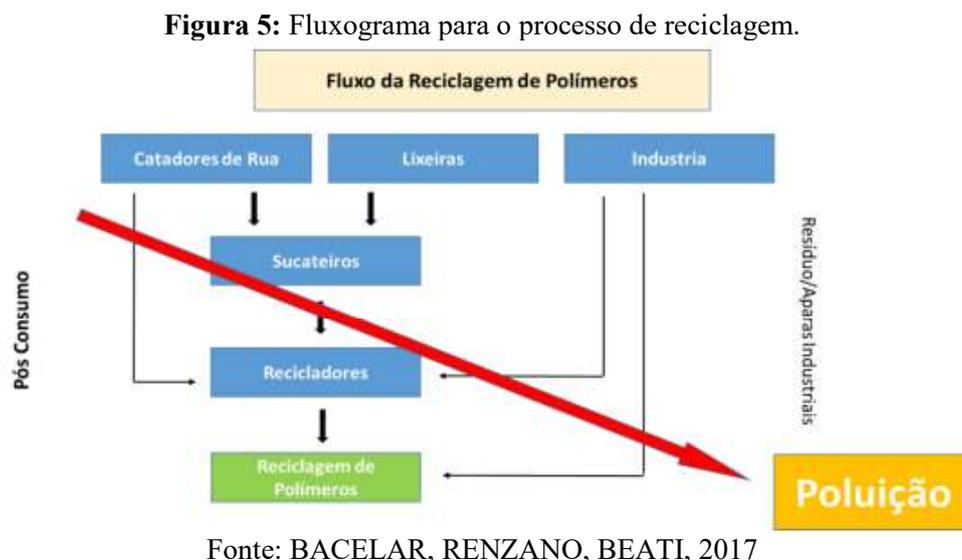
A tecnologia de reciclagem para o poliestireno expandido pode ocorrer de três maneiras distintas: a reciclagem por via mecânica, na qual o produto é transformado em matéria-prima; a reciclagem energética, que utiliza o poliestireno para a recuperação de energia devido ao seu alto poder calorífico; e a reciclagem química, que reutiliza o plástico na fabricação de óleos e gases. Além disso, o material tem encontrado aplicação no isolamento térmico na construção civil, sendo empregado em diversos tipos de empreendimentos (BACELAR, RENZANO, BEATI, 2017).

O poliestireno expandido é amplamente utilizado em embalagens, isolamento térmico e produtos descartáveis devido à sua leveza e propriedades isolantes. No entanto, o isopor é frequentemente apontado como um dos materiais mais problemáticos em termos de resíduos sólidos devido à sua baixa densidade e dificuldade de reciclagem. O descarte inadequado de isopor pode resultar na dispersão de pequenos fragmentos, que podem ser ingeridos por animais e entrar na cadeia alimentar. Além disso, sua natureza não biodegradável contribui para a acumulação de resíduos em aterros sanitários.

A queima do poliestireno em usinas térmicas para a geração de energia é caracterizada pela conversão do material em dióxido de carbono e vapor d'água. Devido a esse processo, a fabricação do material é considerada de baixo risco para a saúde humana e para o meio ambiente. O isopor demonstra solubilidade em água, não atuando como contaminante de alimentos, e não causa danos à camada de ozônio, pois é isento de gás clorofluorcarbono (CFC).

Além disso, o seu processo de fabricação consome uma quantidade reduzida de energia (PLASTIVIDA, 2006; CARTELLANI, 2007).

Entretanto, é evidente a necessidade de coleta desse resíduo para que ele possa ser reintegrado à cadeia produtiva, especialmente no que diz respeito à reciclagem. A Figura 5 ilustra o fluxograma que exemplifica como ocorre esse processo.



O isopor, apesar de sua aparência inocente e frágil, leva cerca de 150 anos para se decompor em grandes quantidades. De acordo Leblanc (2018), um único copo desse material consome 50 anos para se decompor. No entanto, assim como o vidro, o isopor é totalmente reciclável. A reciclagem do isopor é um desafio devido à sua estrutura porosa e ao alto custo associado ao seu transporte e processamento e, por ano, são produzidas aproximadamente 60 mil toneladas deste material (RICCHINI, 2019).

4.4.1 Propriedades do Isopor.

O isopor além de sua leveza e custo reduzido, exibe boa resistência mecânica, facilidade de aplicação e alta impermeabilidade ao vapor de água. No entanto, como desvantagens, é importante destacar a inflamabilidade do material e a liberação de gases tóxicos durante a queima (SILVA, 2013).

Estudos indicam que o EPS é um material quimicamente inerte e não biodegradável, ou seja, não se decompõe, desintegra ou desaparece no ambiente, e não contém CFC. Dessa forma, ele não causa contaminação química no solo, na água ou no ar. No entanto, torna-se um problema ambiental quando não é reciclado, pois é considerado um material praticamente eterno e ocupa muito espaço devido à sua baixa densidade, gerando desafios nos lixões ou aterros sanitários municipais (GROTE; SILVEIRA, 2002).

A produção global de poliestireno expandido é de aproximadamente 2 milhões de toneladas anuais. No Brasil, o setor que mais consome esse material é o de embalagens, representando

50% da produção total, seguido pela construção civil, com 35%, e utilidades domésticas, com 15% (GROTE; SILVEIRA, 2002). Na figura 6 é possível observar o isopor em pequenas esferas.

Figura 6: Poliestireno expandido.



Fonte: TERMOTÉCNICA, 2019.

Figura 7: Características do poliestireno expandido

Tipo	Correspondente
Densidade	16 kg/m ³
Condutividade térmica	0,04 W/m. K
Reação ao fogo	Inflamável
Reciclagem	Reciclável

Fonte: Adaptada de SILVA, 2013.

De acordo a Figura 7, uma de suas características é a inflamabilidade, ele é um aliado ao combate a propagação de chamas por sua alta densidade, quando está nas paredes protegido por argamassa. O isopor permanece em estado sólido à temperatura ambiente, mas se aquecido a uma temperatura superior a 100 °C, perde suas características iniciais. No entanto, ao ser resfriado, recupera seu aspecto anterior, e esse comportamento pode ser amplamente aplicado no processo de moldagem. Contudo, é importante destacar que o processo de degradação do poliestireno é bastante lento, o que tem gerado controvérsias, uma vez que seus resíduos são frequentemente observados no meio ambiente, ao ar livre, especialmente ao longo de rios, canais de água e mares (FIORI et al., 2019).

Devido à composição do isopor, que consiste aproximadamente em 98% de ar, quando solubilizado, resulta em um volume final do polímero que representa cerca de 10% do volume original coletado. Por essa razão, a maioria das empresas de reciclagem hesita em lidar com esse material. Além de ocupar um grande volume, o que encarece o transporte e, conseqüentemente, o processo de reciclagem, são necessárias quantidades substanciais para tornar economicamente viável o processo como um todo. Quando queimado, o isopor gera uma grande quantidade de dióxido de carbono, contribuindo para a poluição ambiental e o aquecimento global (FIORI et al., 2019).

Em relação a como o EPS é produzido, é possível observar a figura 8, que descreve todos os processos desde a retirada do petróleo até a obtenção do EPS propriamente dito, assim como qual tipo de indústria é responsável por cada etapa do processo. Após a produção, o EPS precisa ser transformado para ser utilizado nas mais diversas aplicações (HONORIO *et al* 2021).

Figura 8: Processo produtivo do EPS.



Fonte: (ABIQUIM,2020).

Abiquim (2020) explica como o processo funciona:

Após sua extração, essa matéria bruta passa pelas refinarias de petróleo para retirar suas impurezas por meio da destilação fracionada e assim obter a nafta. Essa fração de nafta segue para a Indústria Petroquímica onde é utilizado para quebrar ligações químicas entre moléculas e obter os chamados monômeros. No caso do EPS, utiliza-se a combinação dos hidrocarbonetos benzeno e etileno com nafta para se obter o monômero de estireno. A partir disso, a Indústria Química adquire esta matéria no formato de esferas minúsculas e injeta o gás pentano. As esferas então passam pelo processo de pré-expansão. Nessa fase, adiciona-se água em altas temperaturas para fazer com que o vapor penetre nas esferas mais rápido do que o pentano a extravasa. O resultado desse processo de polimerização do estireno resulta no poliestireno expandido. Depois de um período de 6 horas em repouso nos silos, o EPS é injetado nos seus respectivos moldes através de ar comprimido. Por fim, as peças são novamente expostas ao vapor para se fundirem e tomarem o acabamento desejado e seguir para o consumidor final. Vale ressaltar que este não é o fim do ciclo do EPS, pois ele ainda pode, após sua aplicação, ser reciclado já que seu tempo de decomposição é indeterminado.

Ademais, segundo Abiquim (2020), o uso do EPS (poliestireno expandido) oferece vantagens significativas, destacando-se a excelente relação custo/volume útil, a boa relação entre resistência e massa, características notáveis de deformabilidade com resiliência elevada, e estabilidade dimensional. Além disso, o EPS é reconhecido por sua facilidade de uso, adaptabilidade físico-química com outros materiais na construção civil, durabilidade em

ambientes diversos e sua capacidade de se adequar a uma variedade de métodos e processos na construção. Importante ressaltar a sustentabilidade do EPS, sendo 100% reciclável, o que contribui para práticas ambientalmente conscientes e promove a economia circular. Essas vantagens consolidam o EPS como uma escolha versátil e eficiente em diversas aplicações.

4.5 O VIDRO

O vidro é um elemento cuja composição é constituída por silícios (areias) e carbonatos. Esse composto passa por processos de fabricação que envolvem altas temperaturas, seguidas por uma rápida solidificação. Esse rápido arrefecimento impede a correta cristalização do material, resultando em um estado cristalino e amorfo, como explica Valarinho (2010, p.6).

É um material amplamente utilizado na indústria de embalagens, construção e eletrônicos, devido às suas propriedades como transparência, durabilidade e resistência química. No entanto, o descarte inadequado do vidro pode resultar em sérios impactos ambientais. O vidro necessita, em média, 4 mil anos para se decompor, um período muito longo, dando a se imaginar que o primeiro vidro produzido no mundo ainda está presente na superfície terrestre. O Departamento de Serviços Ambientais de New Hampshire (2014) estima que recipientes de vidro tomem pelo menos 1 milhão de anos para se desintegrar completamente no ambiente, o que contribui para a poluição visual, entupimento de sistemas de drenagem e degradação de ecossistemas aquáticos e terrestres.

Santos (2009) defende a viabilidade do aproveitamento de vidro na fabricação de novos materiais. Em sua pesquisa sobre a sinterização de pó de vidro (PV), ele concluiu que, à medida que o tamanho médio das partículas era reduzido, aumentava a reatividade química devido ao incremento da energia superficial e, como resultado, ocorreria a redução do consumo de energia e do impacto ambiental associado à emissão de gases.

Na etapa de reciclagem, os cacos de vidro são transportados para a indústria vidreira, onde são utilizados como matéria-prima na fabricação de novas embalagens. Esses cacos desempenham o papel de matéria-prima já balanceada, sendo misturados à matéria-prima virgem. Essa mistura substitui o feldspato, que atua como fundente, proporcionando uma fusão em temperaturas mais baixas e resultando em economia de energia no processo de produção. No entanto, apesar desses esforços de reciclagem, uma parte significativa da sucata de vidro ainda é inadequadamente descartada, contribuindo para a poluição ambiental (VALE, 2017).

De acordo com Santos (1998), aproximadamente 2% do total de resíduos depositados em lixões e aterros no Brasil consistem em vidro. Estima-se que cerca de 70% dos aterros estarão com capacidade muito reduzida no próximo milênio, dado o tempo estimado de decomposição do vidro, que é de aproximadamente um milhão de anos. Nesse contexto, o uso da sucata de vidro na construção civil representa uma abordagem mais sustentável para lidar com esse resíduo abundante, especialmente considerando que o setor da construção civil é um grande consumidor de matérias-primas naturais. Apenas na produção de argamassas e concretos, o Brasil consome aproximadamente 220 milhões de toneladas de agregados naturais (JOHN, 2000 apud ALVES, 2008).

Entre os resíduos sólidos gerados no Brasil, o vidro se destaca pelo seu volume elevado, representando aproximadamente 3% do volume total dos resíduos sólidos do país, conforme

dados de 2017 (CEMPRE, 2017). No entanto, apenas cerca de 14% deste volume é destinado à reciclagem, sendo o principal mercado as próprias empresas de vidro e, ocasionalmente, empresas de coleta seletiva (CEMPRE, 2017; ROSA, 2017). Segundo a Abravidro (2017), o consumo anual de vidro no Brasil atinge até 1.577.776 toneladas, resultando em um faturamento de R\$4.121 milhões para as empresas fabricantes.

Segundo Csanyi (2014), a reciclagem do vidro consome uma quantidade 70% menor de energia em comparação com sua produção, resultando em uma economia de energia suficiente para manter um computador funcionando por 25 minutos. Conforme a Abividro (2017), a reciclagem também contribui para a redução de poluentes em 20% e uma diminuição no uso de água em 50%. No entanto, apesar desses benefícios, apenas 47% do vidro é reciclado no Brasil. O reaproveitamento do vidro e isopor demonstra ser economicamente viável, apresentando um considerável potencial e alta lucratividade, no entanto, é importante destacar que essa prática ainda é pouco explorada no país.

Atualmente, a maioria das empresas adota uma postura ambiental ativa, transformando uma abordagem passiva em oportunidades de negócios que resultam em lucro para a empresa e minimizam o impacto ambiental. Nesse contexto, a logística reversa emerge como uma abordagem que abrange questões legais, ambientais e econômicas, tornando-se indispensável no contexto organizacional. A logística reversa é um processo pelo qual as empresas podem se tornar mais ecologicamente eficientes, promovendo a reciclagem, reuso e redução da quantidade de materiais utilizados (SHIBÃO, MOORI e DOS SANTOS, 2010). Dessa maneira, a reciclagem e a logística reversa não apenas proporcionam benefícios ambientais, mas também contribuem para a formação de uma consciência ecológica na sociedade.

4.5.1 Propriedades do Vidro

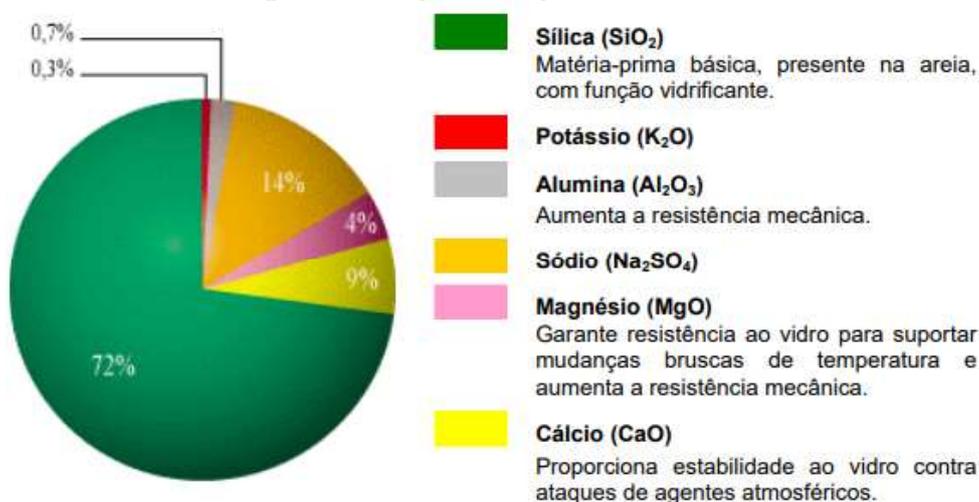
O vidro é um material sólido obtido pelo resfriamento de uma massa em fusão, composta principalmente por algumas substâncias inorgânicas. Em geral, essa composição inclui areia de sílica e óxidos metálicos secos pulverizados ou granulados (PEREIRA, 2006). De acordo com BAUER (2015), o vidro é essencialmente composto por sílica ou dióxido de silício (SiO_2), representando entre 60 a 80% de seu peso. A maior parte desse dióxido de silício (SiO_2), utilizado na fabricação rotineira do vidro, é prontamente disponível em depósitos locais de areia com a pureza necessária (SHACHELFORD, 2008).

Lomasso et al. (2015) reiteram que o vidro é um composto sólido e sem forma determinada, resultante da fusão e subsequente resfriamento de óxidos ou derivados até atingir uma condição rígida, sem cristalização. Sua aplicação é vasta, abrangendo garrafas, pratos, copos, peças de decoração, frascos para produtos farmacêuticos, janelas, partes de eletrodomésticos, eletroeletrônicos, entre outros. A reciclagem do vidro desempenha um papel crucial na redução do consumo de energia e de matérias-primas retiradas da natureza para sua produção, contribuindo para aprimorar as condições de limpeza pública e diminuir o volume de resíduos em aterros e lixões.

O vidro se destaca de outros materiais por várias características distintivas: não é poroso nem absorvente e é um excelente isolador (dielétrico). Apresenta um baixo índice de dilatação e condutividade térmica, além de suportar pressões significativas, variando de 5.800 a 10.800 kg/cm^2 . Essas propriedades fazem do vidro um material versátil, adequado para diversas

aplicações em função de suas características únicas (PINHEIRO, 2007). Os principais componentes químicos do vidro estão ilustrados na Figura 9.

Figura 9: Componentes químicos do vidro.



Fonte: Pinheiro, 2007.

A sucata de vidro, quando está limpa e selecionada, desempenha um papel importante no processo de fusão, contribuindo para a redução do consumo energético, o aumento da capacidade de extração e a extensão da vida útil dos fornos. Além disso, os vidros coloridos são produzidos mediante a adição de corantes à composição, tais como Selênio (Se), Óxido de Ferro (Fe₂O₃) e Cobalto (Co₃O₄), para alcançar diferentes cores. Essa técnica permite a criação de uma variedade de tons e aplicações para atender às demandas específicas de design e preferências do mercado. (PINHEIRO, 2007)

Vale (2017) argumenta que o vidro pode ser considerado um material elástico, pois não apresenta uma deformação permanente. No entanto, é crucial observar que o vidro é um material frágil; quando submetido a determinadas tensões, ele se rompe abruptamente, sem indicar previamente o ponto de ruptura. Além da elasticidade, compreender a resistência do vidro à tração, compressão e flexão, Figura 10, é de extrema importância para seu uso na construção civil. É fundamental destacar que a resistência mecânica é uma das propriedades mais significativas em um projeto, pois, como afirma Hibbeler (2004, p.62), "a resistência de um material depende de sua capacidade de suportar a carga sem deformação excessiva ou ruptura".

Figura 10: Resistência mecânica do vidro.

RESISTÊNCIA	VALOR
Tração	300 a 700 MPa
Compressão	1000 MPa
Flexão	40 Mpa (Vidro recozido) 120 a 200 Mpa (Vidro temperado)

Fonte: Martins e Pinto (2004).

Dessa forma, embora o vidro tenha uma alta resistência à compressão, isso não influencia significativamente em seu comportamento estrutural. Como é conhecido, conforme um elemento estrutural sofre compressão, também há esforços de tração, mesmo que sejam mínimos, levando o vidro a atingir primeiro seu limite de resistência à tração (VALE, 2017). Esse entendimento destaca a importância de considerar não apenas a resistência à compressão, mas também a resistência à tração ao projetar estruturas que envolvem o uso de vidro.

4.6 COMPOSIÇÃO DO PÓ DE VIDRO NO AGREGADO

Após a Segunda Guerra Mundial, impulsionada pela crise financeira e pela falta de matéria-prima, surgiu a ideia de incorporar resíduos recicláveis na construção civil. O propósito era reconstruir as cidades europeias utilizando a moagem de entulhos como agregado, conforme destacado pela Abrecon (2018). Dessa forma, a partir de 1946, teve início a integração de recursos recicláveis no cenário da construção civil. (RODRIGUES e DEBONI, 2022).

Em contrapartida, a indústria da construção registrou significativos avanços na reciclagem de subprodutos e resíduos industriais, destacando-se a reutilização de resíduos de vidro. A transformação desses resíduos em agregados não apenas diminui o volume de deposição em aterros, mas também reduz a necessidade de extrair matéria-prima natural, conforme mencionado por Mota (2022). Essa abordagem não só contribui para a gestão mais sustentável de resíduos, mas também atua na preservação de recursos naturais.

Righi (2010) propõe uma alternativa sustentável para mitigar o acúmulo de vidros em lixões, sugerindo sua integração na construção civil, especialmente em misturas à base de cimento. Isso inclui a produção de concretos que empregam sucata de vidro moído como substituto da areia. No entanto, Neville (1997) ressalta uma das restrições associadas ao uso de vidro reciclado em concretos: a possível ocorrência de reação álcali-sílica entre os álcalis presentes no cimento e a sílica do vidro. Essa consideração sublinha a importância de abordagens equilibradas e avaliações detalhadas ao adotar práticas sustentáveis na construção.

Numerosos estudos têm sido conduzidos ao longo de décadas com o propósito de incorporar resíduos de vidro em compósitos cimentícios, visando objetivos econômicos, tecnológicos e ambientais. De maneira geral, os resultados apontam para a viabilidade do uso desse resíduo, embora seja crucial considerar com atenção o teor empregado, os locais de aplicação e as devidas correções nos traços, uma vez que o material pode impactar as propriedades finais dos produtos, muitas vezes de maneira desfavorável (MOTA, 2022).

Shao et al. (2000) observa que devido à reação entre os álcalis presentes no cimento e a sílica reativa no vidro, o uso deste como agregado graúdo no concreto não é considerado satisfatório, uma vez que resulta em perda de resistência e expansão excessiva no material. Contudo, estudos recentes indicam que, se as partículas de vidro possuem um tamanho de, no máximo, 300 μm , a expansão induzida pela reação álcali-sílica pode ser mitigada. Essa descoberta sugere uma abordagem potencialmente viável para superar os desafios associados à utilização de vidro em concretos, ressaltando a importância da granulometria na eficácia dessas práticas.

Considerando essa perspectiva, Shao *et al.* (2000) exploraram a viabilidade de incorporar partículas finamente moídas de vidro como uma substituição parcial do cimento na produção de concretos. Os testes realizados tinham como objetivo avaliar a atividade pozolânica do vidro moído e monitorar o desenvolvimento da resistência à compressão do concreto após a

substituição parcial de 30% do volume de cimento por vidro moído. Além disso, foram conduzidos ensaios em argamassas para investigar a potencialidade de expansão induzida pela reação álcali-sílica. Essa pesquisa reflete um esforço direcionado para compreender e otimizar a utilização de vidro moído como um componente eficaz em materiais de construção.

Os resultados indicaram que o tamanho das partículas de vidro moído exerce um impacto significativo no desempenho do concreto. Concretos fabricados com partículas de vidro moído menores do que 75 μm revelaram um aumento na resistência à compressão e uma expansão menor em comparação com o traço padrão. Os pesquisadores concluíram que o aumento de resistência e a redução da expansão, relacionados ao efeito do tamanho de partícula, são indicativos fortes da atividade pozolânica do material (SHAO *et al.*, 2020). Essas descobertas sublinham a importância da granulometria na eficácia da utilização de vidro moído para melhorar as propriedades do concreto.

Os resultados obtidos por Lopez (2003) revelam uma tendência de aumento da tensão média de ruptura conforme a granulometria do material cresce, atingindo seu ponto máximo entre 0,15 a 0,30 mm. Posteriormente, a tensão de ruptura diminui, mantendo-se em um patamar superior ao do corpo de prova de referência. Esse aumento na tensão média é atribuído à possível capacidade de preenchimento de vazios pelo vidro fino. Parece que o vidro está ocupando os espaços entre os agregados utilizados, especialmente entre os grãos de areia, conferindo maior resistência ao material. Essa observação sugere que o vidro fino desempenha um papel significativo no fortalecimento da estrutura, impactando positivamente as propriedades mecânicas do material.

Lima *et al.* (2012), ao abordar a substituição de areia por vidro moído em seu estudo sobre a análise de concretos submetidos a elevadas temperaturas, destaca que, de acordo com suas conclusões, o teor de substituição mais eficaz foi de 20%. Nesse ponto, foi alcançado um patamar de resistência equivalente ao concreto sem qualquer substituição. Esse resultado sugere que a substituição de areia por vidro moído na proporção de 20% pode representar uma abordagem eficiente para manter as propriedades de resistência do concreto em condições de exposição a altas temperaturas.

A pesquisa realizada na base de dados Scopus em 2020 revelou a existência de 271 artigos revisados por pares que abordam o tema do Concreto Autoadensável (CAA) com a utilização de resíduos de vidro quebrado, em pó, moído ou triturado, ou termos semelhantes. Alguns dos estudos mais notáveis, como o de Kou e Poon (2009), exploram a substituição de agregados graúdos e miúdos no CAA por vidro reciclado. Essa abordagem destaca o crescente interesse na incorporação de resíduos de vidro em concretos de alta fluidez, com potenciais benefícios tanto para a sustentabilidade quanto para as propriedades do material.

Diversos países têm adotado a prática de incorporar recursos reciclados na produção de blocos de concreto, uma abordagem que não apenas reduz os impactos adversos, como a poluição, mas também atenua o desperdício de matérias-primas. Na Austrália, destaca-se o uso proeminente de vidro moído como substituto da areia em concreto e argamassa, sendo essa substituição aplicável tanto em elementos estruturais quanto não estruturais (SANTOS, 2015).

Em Nova Iorque, já foram emitidas recomendações para a inclusão de vidro moído na composição do concreto (LOPEZ *et al.*, 2005), evidenciando uma conscientização quanto aos benefícios ambientais dessa prática. No Brasil, embora o vidro moído seja empregado na pavimentação asfáltica, seu uso no concreto ainda se restringe a estudos acadêmicos em

estágio inicial. Martins (2018) afirma que esta tendência global de adotar materiais reciclados na indústria de construção não apenas promove práticas mais sustentáveis, mas também oferece uma solução eficaz para a gestão responsável de resíduos. No cenário brasileiro, a incorporação do vidro moído em asfaltos sinaliza um progresso inicial, enquanto os estudos acadêmicos no âmbito do concreto indicam um potencial futuro para a implementação dessa abordagem inovadora na construção civil nacional.

Conforme o Panorama Abividro (2023), a capacidade de produção de vidro no Brasil atingiu aproximadamente 7.530 toneladas por dia em 2021. Apesar de o vidro possuir a capacidade de ser reciclado repetidamente sem comprometer suas propriedades, a taxa de reciclagem ainda é de apenas 50% (ABRIVIDRO, 2019). É crucial destacar que o vidro constitui um resíduo sólido com um prolongado tempo de decomposição, tornando imperativo o desenvolvimento de soluções ecologicamente sustentáveis para gerenciar adequadamente o descarte desse material.

De acordo com Santos (2013), especialistas na área de ciência dos materiais estão atentos à análise da influência da substituição do agregado miúdo pelo vidro na composição do concreto. A substituição parcial de agregados miúdos por resíduos de vidro moído demonstra a capacidade de proporcionar eficiência econômica para o setor da construção civil, desde que validada por meio de experimentação. Esse processo assegura a segurança das estruturas construídas, sem comprometer a durabilidade das obras.

4.7 COMPOSIÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (ISOPOR) NO AGREGADO

A Associação Brasileira de Poliestireno Expandido - ABRAPEX (2000), afirma que o Poliestireno Expandido, que tem a sigla internacional de EPS, é um polímero celular rígido com diversas formas e aplicações; é composto principalmente por um conglomerado de grânulos moldados em forma de espuma após um processo de transformação física. Além disso, o PS (poliestireno) não passa por nenhuma alteração química durante este processo.

De acordo com EPS Brasil (2014), o isopor foi descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Buchholz. Este material é o resultado da polimerização do estireno em água. Como consequência deste processo obtém-se pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, as quais poderão se expandir até 50 vezes em seu tamanho original. Além disso, estas pérolas apresentam um volume composto por 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. É importante ressaltar que o produto é inerte, não contamina o solo nem a água e é totalmente reciclável. No Brasil, o termo "Isopor" é uma marca registrada da empresa Knauf.

Rocha *et al.* (2020) destaca as inúmeras características positivas do Poliestireno Expandido, ressaltando sua natureza isolante, leveza, facilidade de uso e excelente relação custo-benefício. Essas qualidades conferiram ao material uma presença significativa no setor da construção civil. Conforme observado por Stocco (2009), uma das múltiplas aplicações desse produto não é desenvolvida a um nível concreto, o que desempenha diversas funções, incluindo isolamento térmico, preenchimento e nivelamento de lajes. Essas propriedades evitaram uma quebra na carga, resultando em economia de matéria-prima, especialmente considerando a possibilidade de reutilização do EPS.

A reutilização de resíduos e a adoção de materiais que promovem construções mais sustentáveis está cada vez mais em destaque na atualidade. Nesse contexto, o EPS tem emergido como uma alternativa viável, pois pode ser reciclado e transformado em elementos construtivos para adição ao concreto, seja triturado ou não, com ou sem função estrutural. Esta abordagem procura promover uma integração estável do EPS como uma opção sustentável e funcional na indústria da construção.

No Brasil, as propriedades do EPS seguem as normas da NBR 11752 (ABNT, 2016), e atendem às exigências de isolamento térmico na construção civil e em ambientes como câmaras frigoríficas. Segundo essa norma, o EPS é categorizado em duas classes: Classe P (sem retardante de chama) e Classe F (com retardante de chama). Quanto à densidade, o material é classificado em três grandes grupos: Grupo I, com densidade de 13 a 16 kg/m³; Grupo II, com densidade de 16 a 20 kg/m³; e Grupo III, com densidade de 20 a 25 kg/m³. Essa classificação fornece uma abordagem sistemática para atender às diversas necessidades de aplicação do EPS em conformidade com as normas determinantes. As especificações para o polímero estão resumidas na Figura 11, conforme versão anterior da NBR 11752 (ABNT, 2007).

Figura 11: Características exigíveis para EPS.

Propriedades	Método de Ensaio	Unidade																																																						
Tipo de material	-	-																																																						
Massa específica aparente	NBR 11949	kg/m ³																																																						
Resistência à compressão com 10% de deformação	NBR 8082	kPa																																																						
Resistência à flexão	ASTM C-203	kPa																																																						
Absorção de água	NBR 7973	g/cm ² x 100																																																						
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	ng/Pa.s.m																																																						
Coefficiente de condutividade térmica a 23°C	NBR 12094	W/(m.K)																																																						
Flamabilidade	NBR 11948	-																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Classe P</th> <th colspan="3">Classe F</th> </tr> <tr> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13-16</td> <td>16-20</td> <td>20-25</td> <td>13-16</td> <td>16-20</td> <td>20-25</td> </tr> <tr> <td>≥ 60</td> <td>≥ 70</td> <td>≥ 100</td> <td>≥ 60</td> <td>≥ 70</td> <td>≥ 100</td> </tr> <tr> <td>≥ 150</td> <td>≥ 190</td> <td>≥ 240</td> <td>≥ 150</td> <td>≥ 190</td> <td>≥ 240</td> </tr> <tr> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> <td>≤ 1</td> </tr> <tr> <td>≤ 7</td> <td>≤ 5</td> <td>≤ 5</td> <td>≤ 7</td> <td>≤ 5</td> <td>≤ 5</td> </tr> <tr> <td>0,042</td> <td>0,039</td> <td>0,037</td> <td>0,042</td> <td>0,039</td> <td>0,037</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Material não-retardante à chama.</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Material retardante à chama.</td> </tr> </tbody> </table>			Classe P			Classe F			I	II	III	I	II	III	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25	≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 150	≥ 190	≥ 240	≥ 150	≥ 190	≥ 240	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 7	≤ 5	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 5	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037	Material não-retardante à chama.			Material retardante à chama.		
Classe P			Classe F																																																					
I	II	III	I	II	III																																																			
13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25																																																			
≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 60	≥ 70	≥ 100																																																			
≥ 150	≥ 190	≥ 240	≥ 150	≥ 190	≥ 240																																																			
≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1																																																			
≤ 7	≤ 5	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 5																																																			
0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037																																																			
Material não-retardante à chama.			Material retardante à chama.																																																					

Fonte: NBR 11752 (ABNT, 2007, p. 4) – Adaptado (2024).

De acordo com a Comissão Setorial do EPS da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2017), o EPS é uma espuma polimérica que apresenta propriedades físicas altamente desejáveis para diversas aplicações na construção civil e em obras de engenharia, destacando-se principalmente pela sua leveza e capacidade eficaz de isolamento térmico. Algumas das vantagens associadas ao uso desse polímero no setor da construção incluem:

- a) Boa relação custo/volume útil: o EPS demonstra maior custo-benefício por metro cúbico quando comparado ao concreto usinado ou argamassa industrializada em termos de volume.
- b) Boa resistência à tração, tendências e flexão: apesar de seu nível, o EPS apresenta uma resistência notável a diferentes tipos de forças, conforto e estabilidade estrutural.
- c) Resiliência elevada e excelente estabilidade dimensional: Capacidade de dissipar tensão e suportar deformações sem rompimento, garantindo durabilidade e integridade ao longo do tempo.

- d) Facilidade de uso: incluindo ótima manuseio, produtividade e ergonomia, tornando-o conveniente para diferentes aplicações.
- e) Grande compatibilidade físico-química: O EPS é facilmente compatível com outros materiais utilizados na construção civil.
- f) Boa capacidade de isolamento: mantém uma capacidade eficaz de isolamento térmico, preservando sua integridade física mesmo diante de variações de temperatura.
- g) Sustentabilidade: o EPS é reconhecido por seu nível de reciclabilidade, contribuindo para práticas ambientalmente conscientes. Além disso, é caracterizado por economia de energia, ausência de emissão de CFC (clorofluorcarboneto) e não emissão de COV (composto orgânico volátil).

Strecker, Silva e Panzera (2014) afirmam que os agregados de isopor têm a capacidade de substituir parcial ou totalmente os agregados miúdos tradicionais utilizados no concreto, incluindo a areia em composições de massas cimentícias. Diversos estudos foram prolongados explorando a incorporação de poliestireno expandido em massas cimentícias, sendo o cimento Portland comumente utilizado como fase ligante.

Em uma análise desse material, Cook e Ravindrarajah (2000) destacam que, para compensar a natureza hidrofóbica do poliestireno, foram acrescentados aditivos como resinas epóxi emulsificadas em água e dispersões de polivinilpropionato. Além disso, esferas de isopor tratadas quimicamente foram empregadas para evitar a segregação nas misturas com o concreto. Bagon e Perry (1991) observaram que as esferas de isopor têm uma tendência de flutuar, o que pode resultar em uma mistura não fluida devido à segregação, tornando o uso de aditivos uma medida necessária para lidar com esse desafio específico.

Frente à vasta aplicabilidade do EPS em diversos setores da economia, Tessari (2006) destaca a preocupação associada ao volume específico de resíduos gerados de forma contínua nas cidades. A autora destaca o papel significativo da indústria da construção civil como uma maneira eficaz de absorver esses resíduos, prevenindo os impactos negativos decorrentes do acúmulo desse material plástico na natureza. Essa abordagem, ao integrar o EPS como recurso na construção civil, não apenas oferece uma solução para a gestão de resíduos, mas também contribui para mitigar os efeitos ambientais adversos, promovendo práticas sustentáveis e a reutilização eficiente desse material versátil.

4.8 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA TIJOLOS ECOLÓGICOS

Sempre que um estudo visa a produção de tijolos para a construção civil, é essencial conduzir ensaios de resistência à compressão, absorção de água e controle dimensional, conforme as diretrizes da NBR 10832 da ABNT. Esta normativa requer a moldagem de no mínimo seis tijolos utilizando a mesma técnica, sendo três destinados ao ensaio de compressão e três para o ensaio de absorção de água, seguindo o procedimento de ensaio da NBR 8492 da ABNT.

De acordo Nogueira *et al* (2021) antes de preparar os tijolos para o ensaio de resistência à compressão, é necessário medi-los com precisão de 1 mm usando um paquímetro. No ensaio de resistência à compressão, o tijolo deve ser cortado ao meio perpendicularmente à sua maior dimensão. As duas metades obtidas devem ser posicionadas com suas faces maiores sobrepostas e as superfícies cortadas invertidas. Para uni-las, deve-se aplicar uma camada fina

de pasta de cimento, já pré-misturada (após aproximadamente 30 minutos de repouso), com espessura entre 2 e 3 mm, e aguardar o endurecimento da pasta.

Quando o tijolo possui rebaixo, as duas partes devem ser sobrepostas de forma que as reentrâncias fiquem nas faces de trabalho do corpo de prova. Essas reentrâncias devem ser preenchidas com pasta de cimento e aguardar aproximadamente 24 horas antes de proceder à próxima etapa, que é a regularização das faces de trabalho. Após o endurecimento do material, os corpos de prova serão identificados e imersos em água por 24 horas. Em seguida, devem ser retirados da água imediatamente antes do ensaio e superficialmente secos. As dimensões das faces de trabalho devem ser medidas com precisão de 1 mm. O corpo de prova deve ser posicionado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio, de forma a ficar centralizado em relação a ele. A aplicação da carga deve ser uniforme e à taxa de 0,5 kN/s, aumentando gradualmente até a ruptura do corpo de prova (NOGUEIRA, *et al.* 2021).

No ensaio de absorção de água, o corpo de prova deve ser submerso em um tanque por 24 horas. Após retirá-lo, é necessário enxugá-lo superficialmente com um pano úmido e pesá-lo (dentro de três minutos), obtendo a massa do tijolo saturado, em gramas. O corpo de prova deve ser então colocado em uma estufa, mantida entre 105 e 110 °C, até que a massa se estabilize. As medições devem ser feitas após os tijolos atingirem a temperatura ambiente, resultando na massa do tijolo seco, em gramas (ABNT, 1985).

5. METODOLOGIA

Assim como todos os elementos empregados em construções civis, os tijolos ecológicos precisam assegurar segurança e conveniência durante a execução da obra, com foco constante no atendimento às suas exigências específicas. Consequentemente, é crucial observar a conformidade com os critérios estabelecidos nos testes de resistência, absorção e controle dimensional do tijolo antes de empregar esse produto, seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR-10832/2013 e ABNT NBR 8492/2012.

Para a confecção do protótipo foi escolhido o modelo de tijolo maciço, por proporcionar maior conforto térmico e acústico, pois seu modelo não é vazado. Este trabalho foi desenvolvido em uma primeira etapa através de revisões de literatura, onde diversas pesquisas foram feitas, com base em artigos, livros e dissertações, com a finalidade de analisar os benefícios e princípios de funcionamento dos modelos de tijolo, e consequentemente sua vantagem no meio da construção civil.

Como segunda etapa foi realizado a confecção do mesmo na Instituição de Ensino - IFBA, utilizando os equipamentos do Laboratório de Materiais de Construção, sendo eles uma prensa manual, um moinho de jarro e um agitador de peneiras. Após essa confecção foram realizados ensaios de resistência e absorção conforme as normas da ABNT NBR-10832/2013.

5.1 Uso do Isopor

Foi utilizado o Isopor EPS, que apresenta típicas bolinhas em sua superfície, leve e de fácil manuseio. Esse material da Figura 12 foi escolhido devido a leveza que traria ao protótipo do tijolo ecológico e a sua abundância, coletado através de doações da população ao redor pois

teriam o seu descarte feito juntamente com outros materiais sintéticos e orgânicos, destinados à aterros sanitários ou lixões da cidade de Vitória da Conquista.

Figura 12: Isopor EPS utilizado para fabricação do tijolo vidro-isopor



Fonte: Própria do autor, 2023.

5.2 Uso do Vidro

O tijolo utilizado no estudo experimental contemplou a substituição do agregado miúdo natural (areia) por vidro moído, na proporção de 100%. O material utilizado nos ensaios, Figura 13, foi proveniente da coleta seletiva de garrafas do tipo long neck, 600ml e litrão, visto que ele atualmente não possui sua reciclagem na cidade e possivelmente seria descartado de forma incorreta.

Figura 13: Vidro utilizado na fabricação do tijolo vidro-isopor.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Inicialmente, procedeu-se a limpeza das garrafas, em imersão em água e lavagem, com a remoção de rótulos e impurezas, e secagem ao ar livre para que as mesmas possam atuar assim como a areia, como agregados inertes, livres de matéria orgânica ou quaisquer outros elementos que possam reagir na preparação.

5.3 Cimento

Para a estabilização dos materiais que foram utilizados, isopor e vidro, optou-se pela utilização do cimento CP V - ARI, um tipo de cimento da marca Nacional, tipo Portland demonstrado na Figura 14. Este material possui uma peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação, cuja resistência normalizada do CP V - ARI é de, no mínimo, 34 MPa aos 7 dias continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais. Este cimento foi comprado em uma empresa do comércio local, seguindo rigorosamente as normas químicas, físicas e mecânicas estabelecidas pela NBR 5733. A escolha desse material de construção deu-se em função de sua ampla disponibilidade no mercado.

Figura 14: Cimento utilizado na fabricação do tijolo vidro-isopor.



Fonte: Própria do autor, 2023.

5.4 Água

Em todo o experimento foi utilizado água potável, disponibilizada pela empresa Embasa, no laboratório de Materiais de Construção da Instituição de Ensino - IFBA.

5.5 Máquinas e Ferramentas utilizadas na fabricação

Foram utilizados os seguintes equipamentos no laboratório:

- Misturador de argamassa: é o equipamento que tem como principal função misturar materiais em uma obra.

Figura 15: Misturador de argamassa utilizada para fabricação do tijolo vidro-isopor



Fonte: Própria do autor, 2023.

- Moinho de Jarro ou de bolas: é um equipamento giratório auxiliar para a moagem de materiais através de esferas de alumina no interior de um jarro de porcelana ou de inox.

Figura 16: Moinho de jarro utilizado para fabricação do tijolo vidro-isopor.



Fonte: Própria do autor, 2023.

- Prensa hidráulica de acionamento manual: ferramenta utilizada para rompimento de corpo de prova. Capacidade para 100 toneladas força.

Figura 17: Prensa hidráulica utilizada para fabricação do tijolo vidro-isopor



Fonte: Própria do autor, 2023.

- Agitador de peneira: é uma máquina que utiliza vibrações para movimentar as partículas através da malha das peneiras. Essa técnica permite separar materiais granulados em diferentes tamanhos e classificá-los por tamanho.

Figura 18: Agitador de peneira para fabricação do tijolo vidro-isopor.



Fonte: Própria do autor, 2023.

- Balança de precisão: é um equipamento que possui elevada sensibilidade, utilizado para medir a massa de sólidos e líquidos não voláteis com alto grau de precisão, que no caso são de duas casas após a vírgula, isto é 0,01gr.

Figura 19 – Balança de precisão



Fonte: Própria do autor, 2023.

5.6 Normatização a ser atendida

Para atender às normas estabelecidas pela ABNT em relação à fabricação, formato, dimensões, resistência à compressão e absorção de água, foram adotadas as seguintes normativas como referência na condução dos ensaios:

NBR 7170/2017 – Tijolo maciço cerâmico – Blocos e tijolos para alvenaria.

NBR 8491/2012 – Tijolo de solo cimento – Requisitos

NBR 8492/2012 – Tijolos maciços de solo cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

NBR 10832/2013 - Formação de tijolo maciço de solo cimento com utilização de prensa.

NBR 10833/2012 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado com a utilização de prensa hidráulica.

NBR 10834/2012 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural.

NBR 10835/2013 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Forma e dimensões.

NBR 10836/2013 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

NBR 15270-1/2023 – Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria.

NBR 15575-1/2013 – Edificações habitacionais – Desempenho.

5.7 Fabricação do tijolo ecológico

O tijolo ecológico convencional, solo cimento, de acordo com a bibliografia consultada por Bastos (2011) possui um traço de 8:1, ou seja, oito partes de terra para uma de cimento. Nesse sentido, o protótipo do tijolo vidro-isopor foi feito com valores arbitrários de 3:1 até esse valor de referência, 8:1. A quantidade do pó de vidro e cimento foram medidas de acordo com o tamanho do corpo de prova. A quantidade de água foi adicionada e quantificada conforme a textura da massa, já o isopor por se tratar de um material leve foi colocado em medidas que completavam a massa. Na Tabela 1 é demonstrado os 6 modelos aplicadas:

Tabela 1 – Modelos aplicados para fabricação do tijolo, vidro e isopor.

	PÓ DE VIDRO (g)	ISOPOR (g)	CIMENTO (g)	ÁGUA (ml)	TRAÇO
MODELO 1	1050	4	210	500	5:1
MODELO 2	1260	4	210	400	6:1
MODELO 3	1470	4	210	500	7:1
MODELO 4	630	4	210	300	3:1
MODELO 5	840	6	210	400	4:1
MODELO 6	1680	8	210	550	8:1

Fonte: Própria do autor, 2023.

Para obtenção de uma curva granulométrica contínua, segundo NM 248:2003, os cacos moídos através do moinho de vidro demonstrados na Figura 21, foram peneirados mecanicamente através do agitador de peneiras, sendo aproveitados os resíduos das peneiras ABNT de 150 μ m, 300 μ m e no fundo como mostra a Figura 20. O material retido nas outras peneiras foi devolvido novamente ao processo de moagem do vidro até adquirir a granulometria desejada.

Figura 20 – Peneiras de 150 μ m, 300 μ m e o fundo.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Figura 21 – Pó de vidro final.



Fonte: Própria do autor, 2023.

A massa específica do vidro moído utilizado foi 2,51 g/cm³. Que foi conseguida realizando o teste de massa específica, que é a quantidade de massa que existe em um determinado volume de agregado, seco em estufa (105°C a 110°C), levando em consideração os espaços vazios entre os grãos, por meio da ABNT NBR NM 52:2005.

Quanto à granulometria do vidro moído, verifica-se que as porcentagens acumuladas retidas nas diversas peneiras se situam dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 7211:2009. Esses limites são essenciais para qualificar o material como agregado miúdo destinado a tijolos/concreto.

Em relação ao isopor, o mesmo foi triturado manualmente e extraído as bolinhas presentes na superfície como apresenta a Figura 23. Após triturado, o material foi passado pela peneira de 6,35mm demonstrado na Figura 22, para padronizar o tamanho e granulometria.

Figura 22 – Peneira de 6,35mm.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Figura 23 – Isopor triturado.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Após todo o material ser processado e pesado, foi produzido a massa de acordo as medidas indicadas na Tabela 1, com substituição total em massa do agregado miúdo, ou seja, substituição da massa total da areia pelo pó de vidro quebrado de garrafas e isopor triturado e moldados nos Corpos de Prova – CP de acordo a ABNT NBR 5738/2015, que trata do procedimento para moldagem e cura, com características cilíndricas e de superfície plana com 5 cm de diâmetro e 10cm de altura conforme apresenta a Figura 24:

Figura 24 – Modelo do CP utilizado na fabricação do Tijolo vidro-isopor.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Posterior à moldagem dos CP, esperou-se 24 horas para a massa secar e, após isso, o material foi retirado do molde e levado para o processo de cura. A Figura 26 apresenta a massa recém-feita:

Figura 25 - Massa recém-feita.



Fonte: Própria do autor, 2023.

5.8 Processo de Cura

O processo de Cura consiste em realizar procedimentos, logo após a moldagem, para garantir a saturação da superfície da peça, evitando que a água de amassamento evapore nos primeiros dias de endurecimento e, sua execução é obrigatória durante pelo menos os 7 primeiros dias. Após todo o preparo e moldagem dos corpos de prova para cura de acordo com a ABNT NBR 5738, procedeu-se a análise mecânica dos mesmos depois de decorrido 7 dias em cura submersa conforme a Figura 26. Foram feitos 3 corpos de prova para cada modelo com uso do vidro moído e isopor, a realização de experimentos em triplicata é recomendada nos laboratórios de ensino porque é um compromisso aceitável entre a precisão e o trabalho. O valor médio da triplicata é a melhor estimativa do teor do analito na amostra, enquanto que o desvio padrão é a estimativa do erro experimental em uma determinação, sendo que o erro padrão no valor médio da triplicata é menor pelo fator de $1/\sqrt{3}$. (PASSARI, 2011).

Figura 26 – CP submersos em cura.



Fonte: Própria do autor, 2023.

5.9 Teste de absorção

As amostras recolhidas após o processo de cura foram secas em estufa a 105°C até chegar a uma constância de massa. Após o material chegar à temperatura ambiente, realizou-se as pesagens com a balança de precisão, obtendo-se assim a massa M1 do tijolo seco, isso em gramas. Na sequência os CP foram colocados em um recipiente com água durante 24 horas e após retirada, foram secados superficialmente e pesados novamente, obtendo a massa do tijolo saturado M2, também em gramas.

Posteriormente a pesagem dos CP, é realizado o cálculo do teste de absorção d'água utilizando da equação 1:

$$A = \frac{M2-M1}{M1} \times 100\% \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

A = Absorção de água (%)

M1 = Massa do tijolo seco (g)

M2 = Massa do tijolo molhado (g)

5.10 Capeamento

Após 24 horas da massa encorpada dentro dos CP após o processo de cura, foi realizado o capeamento, que consistiu em passar uma pasta de cimento, com precisão de 1 mm, na superfície do material, deixando-o lisa e regularizada, como mostra a figura 27:

Figura 27 – Processo de capeamento dos CP



Fonte: Própria do autor, 2024

5.11 Teste de resistência

A análise da resistência à compressão de todos os corpos de prova realizou-se por prensa mecânica, em que os resultados obtidos em Kgf são transformados em MPa. De acordo com a ABNT NBR 8492/2012 essa transformação deve ser feita na relação de que resultados obtidos são divididos pela área da secção transversal do CP gerando um resultado em Kgf/cm² e, dividindo esse resultado por 10, obtendo assim essa tensão em MPa, onde 1 MPa corresponde a aproximadamente 10 Kgf/cm². Na prensa a carga foi elevada até ocorrer a ruptura dos CP, que pode ser observado na figura 28:

Figura 28 – Corpos de prova rompidos.



Fonte: Própria do autor, 2024

6. RESULTADOS

6.1 Resultado do teste de absorção

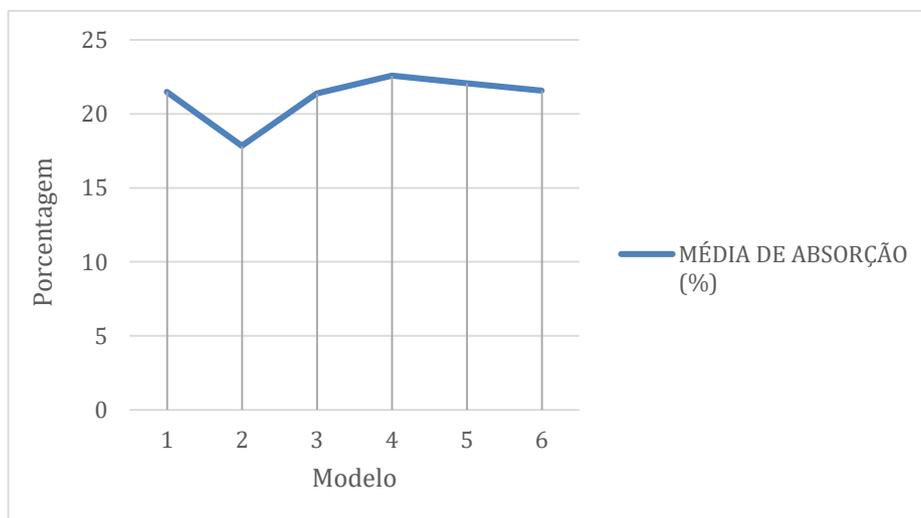
Ao total foram feitos 6 modelos, cada um deles com um traço diferente e em triplicata. Diante a pesagem dos CP secos, molhados e o cálculo para encontrar o valor de absorção através da equação 1 já mencionada, foi tirada a média das três vias que pode ser observado na tabela 2 e gráfico 1.

Tabela 2 – Teste de absorção tijolo vidro-isopor

TESTE DE ABSORÇÃO	PESO SECO (g)	PESO MOLHADO (g)	VALOR DE ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)
MODELO 1	264	319	20,83	21,48
MODELO 1	256	311	21,48	
MODELO 1	244	298	22,13	
MODELO 2	277	326	17,68	17,83
MODELO 2	272	320	17,64	
MODELO 2	264	312	18,18	
MODELO 3	257	313	21,78	21,37
MODELO 3	256	312	21,87	
MODELO 3	259	312	20,46	
MODELO 4	225	273	21,33	22,57
MODELO 4	219	270	23,28	
MODELO 4	225	277	23,11	
MODELO 5	220	268	21,81	22,07
MODELO 5	217	265	22,11	
MODELO 5	220	269	22,27	
MODELO 6	233	284	21,88	21,56
MODELO 6	233	283	21,45	
MODELO 6	239	290	21,33	

Fonte: Própria do autor, 2024.

Gráfico 1 – Teste de absorção tijolo vidro-isopor



Fonte: Própria do autor, 2024

Todos os modelos foram feitas em um processo de cura de 7 dias, isso se dá porque o cimento utilizado se tratava de um CP V – ARI, que já atinge altos valores de resistência nos primeiros dias de aplicação e por isso, não foi necessário o período de cura de 28 dias, que é muito visto na literatura em experimentos de tijolo solo-cimento.

Partindo dos resultados obtidos na tabela 2 e no gráfico 1, infere-se que os resultados obtidos foram satisfatórios de acordo a ABNT NBR 8492/2012, que estabelece que o A (%) nos tijolos de solo-cimento com idade de 28 dias a porcentagem de absorção deve ser Individualmente de $A \leq 22\%$ e média entre os corpos de prova de $A \leq 20\%$.

Dessa forma, utilizando da ABNT NBR 8492/2012 como referência para o tijolo vidro-isopor, com tempo de cura de 7 dias, observa-se na tabela 2 e gráfico 1 que para valores individuais algumas das triplicatas atingiram o máximo pedido na norma $\leq 22\%$, como nos modelos 2, 3 e 6 em 100%, e nos demais modelos 1, 4 e 5 esse valor já não compreende todas as três vias. Em relação aos valores de média, percebe-se que apenas o modelo 2 atinge o pedido da norma de $\leq 20\%$.

Portanto, pode-se concluir que os testes de absorção de água se fazem satisfatórios, os modelos produzidos conseguiram atingir boas porcentagens de absorvência conforme a norma a ser seguida, já que os valores obtidos na idade de 7 dias se aproxima do limite estabelecido.

6.2 Resultado do teste de resistência

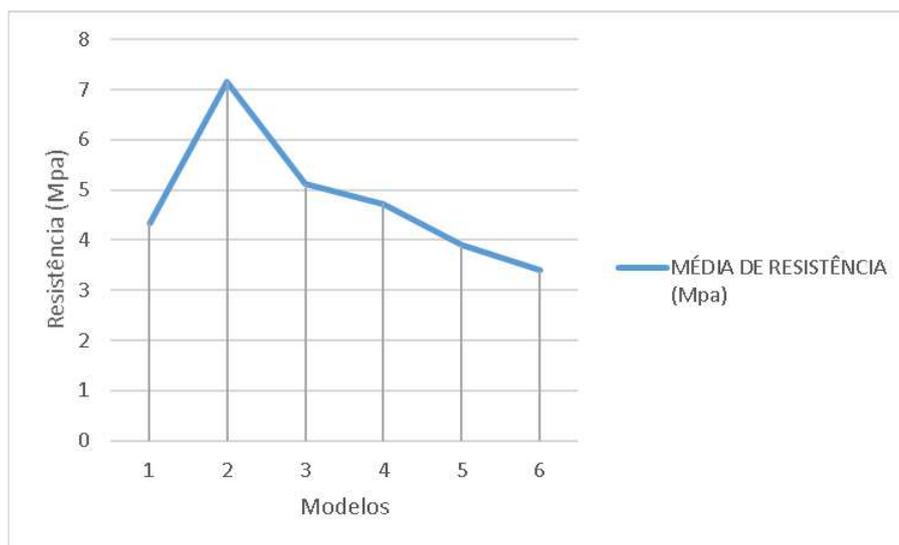
Os resultados do teste de resistência foram obtidos através do rompimento dos CP através da prensa hidráulica, e seus dados foram demonstrados na tabela 3 e gráfico 2 abaixo:

Tabela 3 – Teste de resistência tijolo vidro-isopor

TESTE DE RESISTÊNCIA	VALOR DE RESISTÊNCIA (kgf)	ÁREA (cm²)	VALOR (Mpa)	MÉDIA (Mpa)
MODELO 1	0,84	19,625	4,28	4,34
MODELO 1	0,86	19,625	4,38	
MODELO 1	0,86	19,625	4,38	
MODELO 2	1,52	19,625	7,74	7,16
MODELO 2	1,44	19,625	7,33	
MODELO 2	1,26	19,625	6,42	
MODELO 3	0,96	19,625	4,89	5,12
MODELO 3	1,04	19,625	5,29	
MODELO 3	1,02	19,625	5,19	
MODELO 4	0,94	19,625	4,78	4,72
MODELO 4	0,9	19,625	4,58	
MODELO 4	0,94	19,625	4,78	
MODELO 5	0,76	19,625	3,87	3,90
MODELO 5	0,78	19,625	3,97	
MODELO 5	0,76	19,625	3,87	
MODELO 6	0,58	19,625	2,95	3,39
MODELO 6	0,74	19,625	3,77	
MODELO 6	0,68	19,625	3,46	

Fonte: Própria do autor, 2024.

Gráfico 2 – Teste de resistência tijolo vidro-isopor



Fonte: Própria do autor, 2024

Seguindo a ABNT NBR 8492/2012, às amostras ensaiadas não podem apresentar a média dos valores a resistência à compressão menor do que 2,0 Mpa (20 Kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (20 Kgf/cm²) com idade mínima de 7 dias. Dessa forma, observando os dados obtidos na tabela 3 e gráfico 2, é possível perceber que todos os modelos atingem 100% dos valores individuais e a superioridade pedida pela norma de $\geq 1,7$ MPa. Em relação aos valores de média, todos os modelos compreendem o que é pedido na norma, pois tiveram resultados $\geq 2,0$ Mpa.

Com isso, é possível concluir que o teste de resistência a compressão também se fez adequado com valores superiores ao da ABNT NBR 8492/2012, tendo o modelo 2 com valores mais adequados tanto em relação a absorção de água quanto na de resistência, podendo ser esse resultado também afetado pelo o seu traço, que pode ser observada na tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Modelos e seus respectivos traços do tijolo vidro-isopor.

	TRAÇO
MODELO 1	5:1
MODELO 2	6:1
MODELO 3	7:1
MODELO 4	3:1
MODELO 5	4:1
MODELO 6	8:1

Fonte: Própria do autor, 2024.

Através da tabela 4 foi possível notar que enquanto os modelos 5 e 6 possuem resultados mais baixos nos testes, eles apresentam um traço de 4:1 e 8:1 respectivamente, o modelo 2 possui um traço 6:1, que seria a média entre esses outros dois modelos. Dessa forma, é viável concluir que o modelo 2 é de fato o CP com mais resistência a compressão e absorção deste projeto da criação de um tijolo ecológico vidro-isopor.

Para moldagem do tijolo, utilizou-se o modelo 2 como referência e foi confeccionado uma forma de ferro, Figura 29, com medidas de 10 cm de largura, 5 cm de altura e 19,5 cm de comprimento, conforme a ABNT NBR 10832/2013:

Figura 29 - Forma de moldagem do tijolo ecológico



Fonte: Própria do autor, 2024.

Após passagem de 24 horas na forma, o tijolo foi desmoldado, colocado em cura durante 7 dias, e o resultado final obtido está demonstrado na Figura 30. Foi encontrada dificuldades em relação à desmoldagem do tijolo, visto que a forma aderiu muito a massa, fazendo com que as quinas do material quebrassem.

Figura 30 - Tijolo ecológico vidro-isopor.



Fonte: Própria do autor, 2024.

6.3 Viabilidade ambiental e econômica.

O custo médio para a construção de uma casa popular é estimado em cerca de R\$ 916,85 por metro quadrado, dos quais 60% são atribuídos aos materiais e os restantes 40% à mão de obra (IBGE, 2016). Essa despesa considerável poderia ser significativamente reduzida mediante a apresentação de uma alternativa viável e autossuficiente para as construções civis de residências e espaços de menor porte. Uma solução promissora nesse contexto seria a introdução de um tipo de tijolo ecológico, dotado de potenciais tanto sustentáveis quanto logísticos.

Nesse contexto, este projeto propôs um tijolo ecológico que fugiu do convencional, tijolo solo-cimento, criando um protótipo utilizando como materiais o vidro e o isopor. O baixo custo de produção a partir da matéria-prima e o valor agregado limitado ao vidro para os catadores e cooperativas de reciclagem contribuem para a percebida falta de incentivo à reciclagem do vidro. Em relação ao isopor, ele é conhecido por não ser biodegradável e por ter um tempo de decomposição indeterminado pois não se desintegra e não desaparece no meio ambiente.

Dessa forma, o tijolo ecológico vidro-isopor surge como uma alternativa sustentável, econômica e funcional. Partindo desse princípio, para o projeto foram utilizados 10kg de vidro que renderam 18kg de pó de vidro moído; 500g de isopor e um pacote de 40 quilos de cimento. Na produção desse protótipo em uma unidade de tijolo foram utilizados a quantidade de materiais demonstradas na tabela 5:

Tabela 5 - Quantidade de materiais em uma unidade do tijolo

Pó de vidro	Cimento	Água	Isopor
1,350kg	225g	500ml	13g

Fonte: Própria do autor, 2024.

Para precificar o tijolo, foi necessário levar em conta o preço cobrado pelas cooperativas de reciclagem de Vitória da Conquista – Ba, todos os dados estão demonstrados na tabela 6:

Tabela 6 - Valores de compra.

Preço	Vidro	Isopor
R\$	0,50 (kg)	1,00 (kg)

Fonte: Própria do autor, 2024.

Após contato com a associação de catadores, foi indicado que os preços atuais cobrados na tabela 6 que são de R\$ 0,50 o quilo do vidro e R\$ 1,00 o quilo do isopor. Um saco de cimento de 40 quilos custa em média R\$ 33,00, e para a unidade do tijolo vidro-isopor foi dimensionado um custo de R\$ 0,20.

Em relação a água utilizada foi considerado conforme a Empresa Baiana e Águas e Saneamento – EMBASA, uma tarifa de R\$ 112,96 por 6 m³, logo foi calculado que para os 500ml de água utilizados no modelo, seria disposto R\$ 0,0094.

Para calcular a energia utilizada para confecção deste tijolo, foi utilizado a equação 2:

$$E = Pot \times Tempo \quad \text{Equação 2}$$

$$E = 200 \times 24$$

$$E = 4.800$$

Sendo:

E = Energia (Wh)

Pot = Potência do motor (W)

Tempo = Tempo para triturar o material (h)

O resultado da energia consumida foi de 4.800 W, o motor do moinho de vidro com uma potência de 200W em um período de trabalho de 24 horas. Transformando em kWh dividindo por 1000 obteve-se o resultado de 4,8 kWh. De acordo o site da empresa responsável pela tarifa de energia da cidade - Coelba, a tarifa atual industrial estava no valor de R\$ 0,8075, multiplicado pela energia consumida, totalizando R\$ 3,87. No que se refere ao valor do pó de vidro, faz a soma dos gastos com o vidro e a energia consumida para tritura-lo, requerendo a quantia de R\$ 0,66.

O custo de mão de obra não foi estimado, visto que se trata de um estudo para fabricação de um protótipo, dentro de um laboratório, sem funcionários. Dessa forma, é exposto na tabela 7 todo o gasto para produção da unidade do tijolo ecológico vidro-isopor.

Tabela 7 – Gastos por unidade do tijolo

	Pó de vidro + Energia	Água	Isopor	Cimento	Total
R\$	0,66	0,094	0,013	0,20	0,88

Fonte: Própria do autor, 2024.

Portanto, conforme a tabela 7, a unidade do tijolo possui um gasto de R\$ 0,88. Levando em consideração a forma que é vendido, o milheiro (mil unidades) sairia no valor de R\$ 880,00. Em relação a margem de lucro sobre o tijolo ecológico vidro-isopor foi calculado um valor de 50% totalizando a venda por R\$ 1320,00 e de 100% arrematando R\$ 1760,00.

Foi realizada uma comparação entre a resistência e absorção do tijolo vidro-isopor com os outros tipos de tijolos comercializados na região:

Tabela 8 – Resistência e Absorção de tijolos em VCA

TIJOLOS	RESISTÊNCIA (mínima)	ABSORÇÃO (média)
6 FUROS	1,5MPa	18%
MACIÇO	1,5Mpa ~ 4,0Mpa	20%
CIMENTO	4,5 MPa	10%
SOLO-CIMENTO	2,0 Mpa	≤ 22%
VIDRO-ISOPOR	2,95 Mpa	17,8%

Fonte: Própria do autor, 2024

Dessa forma, de acordo com a tabela 8, foi possível perceber que os valores encontrados de resistência e absorção d'água não possuem distâncias discrepantes, mesmo que cada um deles possuam a sua norma específica a ser atendida por serem confeccionados de diferentes materiais.

Em uma pesquisa de mercado em Vitória da Conquista – Ba e em cidades ao redor, foi possível recolher os seguintes dados referentes a média de preço dos tijolos:

Tabela 9 – Preço do milheiro dos tijolos

	Tijolo 6 furos	Tijolo maciço	Tijolo cimento	Tijolo ecológico solo-cimento	Tijolo ecológico vidro-isopor
R\$	600,00	1500,00	3780,00	1400,00	1320,00

Fonte: Própria do autor, 2024.

Dessa forma, é possível observar de acordo a tabela 9, que o milheiro do tijolo ecológico, colocando 50% de lucro, sai mais em conta que o tijolo maciço, tijolo de cimento e o próprio tijolo ecológico solo-cimento, ficando atrás apenas do tijolo 6 furos e isso se deve ao fato por ser um tipo de tijolo em que o gasto na sua fabricação não ser tão caro.

Assim, quando se fala de viabilidade ambiental, a reciclagem de vidro e isopor para a produção do tijolo ecológico apresenta uma disponibilidade considerável e um potencial de lucratividade. No entanto, essa abordagem ainda é pouco explorada na região. Apesar das vantagens evidentes em termos de sustentabilidade e eficiência econômica, há uma oportunidade significativa para expandir e incentivar ainda mais a prática da reciclagem de vidro e isopor no cenário nacional.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor da construção civil se destaca como um dos maiores consumidores de insumos naturais na economia e, diante desse cenário, se observa uma crescente tendência do surgimento de novas tecnologias com o intuito de mitigar os impactos ambientais associados a essa indústria. Esse movimento resulta na diversificação de técnicas e aplicações que utilizam matérias-primas recicladas na fabricação de novos artefatos.

Os produtos produzidos a partir de materiais reciclados têm demonstrado eficácia em atender às demandas da sociedade, alinhando-se aos requisitos estabelecidos em normas, tais como resistência à tração e compressão e absorção de água. Além disso, esse enfoque contribui para a redução dos impactos decorrentes da extração de recursos naturais, colaborando assim para a minimização do consumo de energia no ambiente construído.

A ideia de fazer um protótipo de um tijolo ecológico utilizando vidro e isopor surgiu nesse contexto de aplicar dois materiais fabricados e utilizados em larga escala no país e que, apesar de 100% recicláveis; não possuem reaproveitamento proporcional a sua produção na construção civil; que é uma área com uma farta geração de resíduos sólidos. O vidro triturado foi utilizado para substituir a areia usada nos tijolos padronizados nas edificações e o isopor com a proposta de deixar o material final mais leve. Por ser um tijolo ecológico vidro-isopor, houve uma dificuldade em encontrar as normas que deveriam ser referidas ao vidro e ao isopor para essa funcionalidade, sendo assim necessário ser seguido a ABNT NBR 8492/2012 e ABNT NBR 10834/2012 para tijolos solo-cimento, para comparação de dados de proporção, absorção e resistência.

Diante dos resultados demonstrados, foi possível concluir que o tijolo ecológico vidro-isopor entregou resultados satisfatórios quando comparado às normas estabelecidas. Houve um modelo que sobressai aos demais que foi o modelo 2 no teste de absorção, apresentando uma média de 17,8% enquanto a norma determina um $A \leq 20\%$. Quanto ao teste de resistência, todos os modelos apresentaram resultados superiores à 2,95 MPa sendo que é regulamentado que amostras ensaiadas não podem apresentar a média dos valores a resistência à compressão menor do que 2,0 Mpa (20 Kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (20 Kgf/cm²). O modelo 2 se destacou dos outros modelos, obtendo um valor de média de resistência a compressão de 7,16 MPa.

É importante salientar que todos os 6 modelos foram feitos com traços diferentes. Na literatura pesquisada o traço ideal para o tijolo ecológico solo-cimento é de 8:1, porém com o tijolo ecológico vidro-isopor deste estudo o melhor resultado dos testes foi obtido através do traço 6:1. O modelo 6 foi feito com o mesmo traço 8:1 porém seus resultados foram os mais inferiores em relação a absorção e a resistência. Por isso, foi estabelecido por este estudo que um tijolo vidro-isopor tem a sua melhor performance a proporção 6:1.

É inegável o quanto a produção do tijolo ecológico vidro-isopor melhoraria a sustentabilidade na cidade de Vitória da Conquista-Ba. Atualmente esses dois materiais não possuem destinação final adequada pois a cidade carece de coleta seletiva e por isso, o vidro e o isopor acabam indo para o aterro sanitário. Além disso, o município possui um crescimento urbano

considerado acelerado, com muitas empresas privadas de construção civil e, por isso, o tijolo seria uma ótima alternativa para um crescimento sustentável.

Em relação a viabilidade econômica, foi calculado todo custo em que seria gasto com o material reciclável comprado nas cooperativas de reciclagem do município e o gasto com a energia do maquinário que tritura o vidro transformando em pó. A unidade do tijolo vidro-isopor ficou de R\$ 0,88, o milheiro em torno de R\$ 880,00, e a margem de lucro foi calculado em cima de 50% e 100% adquirindo os valores de R\$ 1320,00 e R\$ 1760,00 respectivamente. Quando se faz a comparação com os tijolos convencionais vendidos em VCA e regiões próximas, o milheiro do tijolo vidro-isopor fica mais barato que o do tijolo maciço, tijolo cimento e do próprio tijolo ecológico de solo-cimento, ficando atrás apenas do tijolo 6 furos, acredita-se que por ele ter uma estrutura que utiliza menos material.

Dessa forma, para projetos futuros têm-se a proposta para desenvolver um tijolo de 6 furos e 8 furos, por possuírem uma economia de material em seus modelos. Também é importante realizar outros testes no tijolo ecológico vidro-isopor, como o de isolamento térmico e isolamento acústico, que não foram feitos neste trabalho por falta de equipamentos no laboratório de estudo. Além disso, se faz necessário um estudo mais aprofundado acerca de orçamentos de maquinário para produção do tijolo e pesquisas de mercado em relação ao interesse público e de empresas privadas. Acredita-se que essa pesquisa possui uma contribuição importante para alternativas sustentáveis em relação ao vidro e ao isopor.

REFERÊNCIAS

- ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **O EPs na construção Civil: Características do poliestireno expandido para utilização em edificações.** São Paulo, set. 2000.
- ABNT. **NBR 8491:** tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. **NBR 8492:** tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT. **NBR 10834:** Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2013.
- ABIQUIM (São Paulo). **O que é EPS?** 2020. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em 20 de novembro de 2023.
- ABIVIDROS. **Reciclagem de Vidro.** Disponível em: <https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro-Guia-Reciclagem-do-Vidro.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- ABIVIDRO. **Guia reciclagem do vidro 100% puro. 100% reciclável.** Disponível em <https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro-Guia-Reciclagem-doVidro.pdf>. Acessado em 21 de novembro de 2023. São Paulo, 2019.
- ABRAVIDRO. **O Mercado vidreiro em números edição 2020.** Disponível em <https://abravidro.org.br/panorama-abravidro-2020> - Acessado em 21 de setembro de 2023. São Paulo, 2020.
- AGENCIA BRASIL, 2022. **Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/indice-de-reciclagem-no-brasil-e-de-4-diz-abrelpe#:~:text=No%20Brasil%2C%204%25%20dos%20res%C3%ADduos,dados%20da%20International%20Solid%20Waste>. Acesso em: 21 de novembro de 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11752: **Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas** (Cancelada). Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11752: **Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial:** Especificação. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. ABIQUIM. Comissão Setorial de EPS. **O que é EPS?** Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em 23 de novembro de 2023.
- BACELAR, B. S.; RENZANO, E. C.; BEATI, E. A. A. F. **INCORPORAÇÃO DO ISOPOR COMO MATÉRIA-PRIMA DE VERNIZ PARA BASE DE TINTA.**

Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2977.pdf>. Acessado em 20 de novembro de 2023.

BARBOSA, B. F.; SARTO, D. S. (2017). **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM TIJOLO ECOLÓGICO SUSTAINABLE CONSTRUCTION WITH ECOLOGICAL BRICK**. p. 2-12. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP.

BARBOSA, Normando Perazzo. **Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes**. Revista Inovação, Gestão de Qualidade e Produtividade, volume 2. Porto Alegre, 2003.

BASTOS, Marcello Presa. **Resistência à compressão e adsorção de água em tijolos de solo cimento**. Universidade de Brasília – UNB, Faculdade de Agronomia e Veterinária – FAV. Brasília, 2011.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção: O uso do solo-cimento na construção civil**, por Prof. Moema Ribas Silva, págs. 688 a 703, 1995.

BIOBLOC Tijolos Ecológicos, 2021. **Origem do Tijolo Ecológico - Um pouco de História**. Disponível em: <https://biobloctijolosecológicos.blogspot.com/p/blog-page.html>. Acesso em 21 de novembro de 2023.

CARTELLANI, T. C. **Reciclagem de isopor: Alternativa de Sustentabilidade**, São Paulo, 2007.

C. Bagon, S. Frondistou-Yannas. **Concreto feito com esferas de poliestireno expandido**, Mag. Concr. Res. 28 (1976) 225-229.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Cempre Review. 2013. Disponível em: Artigos (Economia Circular) – CEMPRE. Acesso em 20 de novembro de 2023

CRUZ, C. A. B.; SANTANA, R. S.; SANDES, I. S. F. **A LOGÍSTICA REVERSA COMO DIFERENCIAL COMPETITIVO NAS ORGANIZAÇÕES**. Disponível em: <https://assets.unitpac.com.br/arquivos/revista/64/9.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

CRUZ, Talita (2020). **Tijolo Ecológico: Veja Como Usar Sem Erros + 10 Projetos Maravilhosos**. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/tijolo-ecologico/>. Acessado em 18 de novembro de 2023.

COUTO, D. B.; MELO, D. S. J.; DUARTE, T. A. S. **ESTUDO DA TROCA DE AGREGADOS CONVENCIONAIS POR VIDRO MOÍDO EM BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL**. Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE (2021).

CSANYI, C. **How long does it take for a glass bottle to degrade in a landfill?** seattle pi, 2014. Disponível em: <https://education.seattlepi.com/long-glass-bottle-degrade-landfill-5235.html>. Acesso em 28 de novembro de 2023

DEMLURB – Juiz de Fora. **Parceria entre Prefeitura e Penitenciária promove reciclagem de isopor**. Disponível em: <https://pjf.mg.gov.br/noticias/view.php?modo=link2&>. Acesso em 31 de janeiro de 2024.

D. J. Cook,. **Grânulos de poliestireno expandido como agregado leve para concreto, Pré-fabricado Concr.** pg 691-693, (1973)

DOS SANTOS, Adson. **Extração mineral de areias e seus impactos na territorialidade socioambiental: o caso de Feira de Santana – BA.** 2008. 20p. Dissertação - Universidade Católica de Salvador, Salvador, 2008.

Eco Mendes, 2020. **História do Tijolo Ecológico**. Disponível em: <https://wildeydantas.wixsite.com/ecomendes/historia-do-tijolo-ecologico>. Acessado em 21 de novembro de 2023.

EJEQ, 2023. **Entenda o que é reaproveitamento de resíduos e quais são os métodos mais utilizados!** Disponível em: <https://www.ejeq.com.br/reaproveitamento-de-residuos/>. Acessado em 21 de novembro de 2023.

EMBASA. **Tarifas**. Disponível em: <https://old.embasa.ba.gov.br/centralservicos/index.php/tarifas?informacoes=sim>. Acesso em 01 de janeiro de 2024.

ENTEICHE, Augusto. **Solo-cimento: sua aplicação em edificações**. Centro Interamericano de Vivenda e Planejamento (CINVA). Santa Fé de Bogotá, Colômbia, 1957.

FIGUEIREDO, L. A. R. **ESTUDO TÉRMICO DO MATERIAL POLIMÉRICO NO REVESTIMENTO DE EMBALAGEM PARA O TRANSPORTE DE MATERIAL BIOLÓGICO CATEGORIA B – UN3373**. Disponível em: https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2019/12/TCC-II_Vers%C3%A3o-Final_-LET%C3%8DCIA-AR-FIGUEIREDO.pdf. Acesso em 20 de novembro de 2023.

FIORI, S.; CRUZ, P. H. S.; OLIVEIRA, E. R.; MELLO, E. V. S.; COLOMBO, J. V. M. P. **Reciclagem do isopor: uma abordagem de conceitos químicos aos visitantes do MUDI**. Disponível em: <http://www.eaex.uem.br/eaex2019/anais/artigos/311.pdf>. Acesso em 21 de novembro de 2023.

GALVAO, A. C. P.; FARIAS, A. C. M.; SOUZA, L. G. M. **VIABILIZAÇÃO DE REJEITOS DE VIDRO PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – 2013.

GASPAR, Marília (2020). **Conheça tudo sobre o Tijolo Ecológico e seu uso nas obras**. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/tijolo-ecologico/>. Acessado em 18 de novembro de 2021.

GROTE, Z. V.; SILVEIRA, J. L. **Termodinâmica de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor): um estudo de caso**. In: Proceedings of Jornada de Iniciação Científica e Pós Graduação. Guaratinguetá, SP, 2001.

GROTE, Z. V.; SILVEIRA, J. L. **Análise energética e exérgica de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor)**. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, [S. l.], p. 9-27, 15 jan. 2002.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 5ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004

HONORIO, A. G.; TEIXEIRA, D. S.; DOMINGUES, D. P.; MENDONÇA, J. C. R. **Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na Produção de Edificações**.

Disponível em:

<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17298/1/ESTUDO%20DA%20VIABILIDADE%20DO%20POLIESTIRENO%20EXPANDIDO.pdf>. Acesso e 20 de novembro de 2021.

IBGE. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil**: métodos de cálculo.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102f. Tese de livre docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000

KOU, S. C.; POON, C. S. **Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate**. Cement and Concrete Composites, v. 31, n. 2, p. 107–113, fev. 2009.

KUSCHEL, A. L. H.; SINCAK, Y.; ENDERLE, T. P.; PEDROZO, E. C. **ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO LEVE COM ADIÇÃO DE EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica. UNIJUÍ (2020)

LEBLANC, R. The decomposition of waste in landfills: A story of time and materials. updated december 16, 2018. Disponível em: <https://www.thebalancesmb.com/how-long-does-it-take-garbage-to-decompose-2878033>.

LIMA, Rogério. RIGHI, Débora. KÖHLER, Lucas. TABARELLI, Aline. KIRCHHOF, Larissa. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos a elevadas temperaturas**. Artigo apresentado na XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Rio de Janeiro: 2012.

LOMASSO, A. L. et al. **Benefícios e desafios na implementação da reciclagem**: um estudo de caso no centro mineiro de referência em resíduos (CMRR). Revista Pensar Gestão e Administração, v. 3, n. 2, jan. 2015. Acesso em 20 de novembro de 2023.

LÓPEZ, D. A. R., AZEVEDO, C. A. P. de. **Avaliação da utilização de vidro cominuído como material agregado ao concreto**. UNISC – Santa Cruz do Sul; ULBRA. Canoas, 2003

MACHADO, G. B. **Qual o preço da sucata**. Disponível em:

<https://portalresiduossolidos.com/qual-o-preco-da-sucata/#:~:text=Sucata%20de%20Vidro%20Transparente%3A%20Pode,a%20R%24%20150%20por%20tonelada>. Acesso em 31 de janeiro de 2024.

MARTINS, Ianne Sousa. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo (areia) por vidro moído no concreto convencional**. 2018. 70p. Dissertação – UniEvangélica, Anápolis, 2018

MARTINS, João; PINTO, Emanuel. **O Vidro**. Disciplina de Materiais de Construção I - Instituto Superior Técnico de Lisboa. 2004.

MEIO AMBIENTE (2019). **Tijolo ecológico: o que é, tipos, vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://www.amigoconstrutor.com.br/tijolo-ecologico/>. Acessado em 18 de novembro de 2021.

Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M.. **Concreto: Estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. Guia – Reciclagem do Vidro 100% puro 100% reciclável. ABIVIDRO, 2013.

MOREIRA, A. S. **Avaliação das propriedades dos tijolos ecológicos produzidos na região de Feira de Santana – Bahia**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (2016).

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G. **Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte: E-xata, 2014. 13-26 p.

MOTA, A. A. P. **Concreto autoadensável com adição de resíduo de vidro: análise das propriedades mecânicas e da ocorrência de reação álcali-agregado**. Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais – MG (2022).

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. Tradução de Salvador E. Giannusso.

NOGUEIRA, D. O. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DO TIJOLO ECOLÓGICO DE SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DE LITERATURA**. p. 5-11. Monografia, 2021.

NOGUEIRA, M. D. et al. (2021). **Desenvolvimento de um tijolo ecológico de encaixe utilizando resíduos de vidro e isopor triturados**. Brazilian Journal of Development.

OLIVEIRA, Antônio Marcos da Silva; GONZAGA, Lourdiane Gontijo das Mercês; RIBEIRO, Diêgo Fernandes. **Uso do poliestireno expandido como agregado em concreto leve: conceituação, aplicações e estado da arte** Vértices (Campos dos Goitacazes), vol. 20, núm. 3, 2018. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Brasil

O que é poliestireno expansível. EPS Brasil. Disponível em: <https://www.epsbrasil.eco.br/eps/>. Acesso em 23 de novembro de 2023.

PAIVA, A. P.; RIBEIRO, S. M. **A reciclagem na Construção Civil: como economia de custos**. São Paulo: FEA-RP/USP, 2011.

PARREIRA, G. N. S. *et al.* **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO PARA UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E DE BAIXO CUSTO**. P. 2-4. UniEVANGÉLICA Campus Ceres-GO.

PEREIRA, CAIO (2019). **Tijolo ecológico: o que é, tipos, vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tijolo-ecologico/>. Acessado em 18 de novembro de 2021.

PINHEIRO, F. C. **EVOLUÇÃO DO USO DO VIDRO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em:

<https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1045.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

PIRES, Ilma Bernadete Aquino. **A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares**. 2004. Disponível em: <https://fdocumentos.tips/document/2004-ilma-bernadete-a-pires-tijolos-ecologicos.html>. Acessado em 18 de dezembro de 2023.

PISANI, J. M. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento**. São Paulo: Sinergia, 2005. 53-59 p.

PLASTIVIDA, Projetos Ambientais - **Repensar (Isopor)**, Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/index.php?lang=pt>. Acessado em 20 de novembro de 2023.

REDAÇÃO CICLO VIVO (2021). **Tijolo ecológico reduz em 90% consumo de água**. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/tijolo-ecologico-consumo-agua/>. Acessado em 18 de novembro de 2021.

RECICLA SAMPA (2022). **Derivado do plástico, isopor é reciclável**. Disponível em: <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/derivado-do-plastico-isopor-e-reciclavel#:~:>. Acesso em 31 de janeiro de 2024.

RICCHINI, Ricardo. **Isopor, é possível reciclar**. Disponível em: <https://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-isopor/isopor-e-possivel-reciclar/>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

RIGHI, Débora; KOHLER, Lucas; KIRCHHOF, Larissa; LIMA, Rogério. **Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas**. Engenharia Estudo e Pesquisa. v. 11 – n. 2 – p. 28-35 – jul/dez. 2011.

R. S. Ravindrarajah, A. J. Tuck. **Propriedades do concreto endurecido contendo esferas de poliestireno expandido tratado**, Cem. Concr. Compos. cap 16, pg 273-277. (1994)

ROCHA, C. *et al.* **UTILIZAÇÃO DO AGREGADO (ISOPOR) NO CONCRETO**. Diálogos: Economia e Sociedade, Porto Velho, v. 4., n. 2, p. 86 – 93, jun./dez. 2020

RODRIGUES, V. T.; DEBONI, R. L. **Substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de vidro moído no concreto**. ARQUITETURA E ENGENHARIA CIVIL CONTEMPORÂNEA: INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE, cap 3, pg 5-7.

ROSA, B. N.; MORAES, G. G.; MAROÇO, M.; DE CASTRO, R. **A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente**. 2005. In: XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005. Acesso em 20 de novembro de 2023.

SADALLA, D. L. **AVERIGUAÇÃO DA TAXA DE ABSORÇÃO SEGUNDO ABNT NBR 8492:2012 EM TIJOLOS ECOLÓGICOS COM USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE A RECICLADOS EM SUA COMPOSIÇÃO**. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2020/III-043.pdf>. Acesso em 29 de janeiro de 2024.

SANTOS, A. R. **Produção. In:** Vidro. 1998. Trabalho de Iniciação Científica – Departamento de Construção Civil, EPUSP, São Paulo. Disponível em: Acesso em 20 de novembro de 2023.

SANTOS, A. S. F.; MANRICH, S.; Resumos do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, Gramado, Brasil, 2001. 24. Resumos do Seminário Internacional.

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil:** história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. Repositório institucional da UFMG. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-84KQ4X/1/2000000140.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

SANTOS, W.J. – **Caracterização de vidros planos transparentes comerciais.** Scientia Plena 5, N°2, pp. 1-4, 2009.

SARAIVA, A. J. L. **PRODUÇÃO DE TIJOLO ECOLÓGICO E A CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO EM SÃO LUIS-MA.** Disponível em:

<http://www.inama.comunidades.net/artigo-tijolo-ecologico>. Acessado em 20 de novembro de 2021.

S. H. Perry, P. H. Bischaff, K. Yamura. **Detalhes da mistura e comportamento do material do concreto agregado de poliestireno,** Mag. Concr. Res. 43 (1991) 71-76.

SILVA, F. M. F et al. **Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores.** Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil. Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2013.

SILVA, Jailton. **APLICAÇÕES DO VIDRO NAS HABITAÇÕES HUMANAS: UMA PROPOSTA DE ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO.** Disponível:

https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190604224449_2017.2_TCC_Jailton_Da_Silva_-_Aplicaes_do_Vidro_nas_Habitaes_Humanas_Uma_Proposta_de_Analise_e_Classificao.pdf. Acesso em 20 de novembro de 2023

SILVA, M. F. A.; BONIFÁCIO, D. R. **SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE VIDRO MOÍDO NO CONCRETO: UMA ANÁLISE SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.** Revista de Engenharia e Tecnologia ISSN 2176-7270. (2023)

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. **Studies on concrete containing ground waste glass.** Cement and Concrete Research. Elmsford, v. 30, n. 1, p. 91-100, 2000.

SHIBAO, Fábio Ytoshi; MOORI, Roberto Giro; SANTOS, Mario Roberto dos. **A logística reversa e a sustentabilidade empresarial.** XIII SEMEAD- Seminários em Administração. Setembro de 2010. Disponível em:<

<http://www.ead.fea.usp.br/semead/13semead/resultado/trabalhosPDF/521.pdf> -521>.

Acesso em 21 de novembro de 2023.

SPIMACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. **A Tecnologia Da Reciclagem De Polímeros,** Quim. Nova, Vol. 28, No. 1, 65-72, 2005.

STOCCO, Wagner, et. al. **Concreto Leve com Uso de EPS**. XXVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE, Recife. 2009.

TECNOTERMO ISOLANTES TÉRMICOS. **EPS (Poliestireno Expandido): o que é e para que serve?** Disponível em: < <https://www.tecnotermo.com.br/eps-poliestireno-expandido-o-que-e-para-que-serve#:~:text=O%20EPS%20%C3%A9%20amplamente%20conhecido,energia%20para%20aquecimento%20e%20resfriamento.>> Acesso em 21 de novembro de 2023.

TERMOTÉCNICA, 2019. **EPS – POLIESTIRENO EXPANDIDO**. Disponível em:< <http://www.termotecnica.ind.br/eps-poliestireno-expandido/>> Acesso em 20 de novembro de 2023.

TESSARI, J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos pela construção civil**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TINOCO, Vinícius; JUNIOR, Francisco. **UTILIZAÇÃO DE VIDRO MOÍDO COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO PADRÃO NO CONCRETO**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC de 15 a 17 de setembro de 2021.

VALARINHO, Luis Guilherme. **Comportamento estrutural de vigas mistas vidro GFRP**. 2010. 232f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 2010.

VALE, J. P. S. S. **VIDRO ESTRUTURAL: CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E ESTUDO DE CASO**. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13700/1/JPVSS01122017.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

VETTORATO, J. G.; GIELH, J. L. R.; CHITOLINA, S.; BETTKER, D. R.; FREITAS, N. C. W. **O VIDRO E A IMPORTÂNCIA DE SEU PROCESSO DE RECICLAGEM E LOGÍSTICA REVERSA**. Revista DI@LOGUS | Cruz Alta | v. 10 | n. 1 | p. 25-47 | jan./abr. 2021.

<https://revistahaus.com.br/haus/sustentabilidade/brasil-pode-reciclar-98-dos-residuos-da-construcao-civil-mas-so-consegue-dar-conta-de-21/>

<https://www.scielo.br/j/qn/a/5ZzT6qNx4LftVrh3fgqtKvy/#>