

## **Prêmio AEA 2021 - Projetos de Meio Ambiente**

### **Utilização de materiais de construção biodegradáveis e de processos construtivos ecologicamente corretos para a construção de uma edificação sustentável: Estudo de Caso da Casa PAS**

Matheus Sousa Pinheiro Bastos, Lorena Franklin Pinto, Bernardo de Oliveira Andrade, Gilcenara de Oliveira.

Universidade de Fortaleza

#### **Resumo**

No contexto atual da sociedade humana, cada vez mais, torna-se necessário aliar os interesses econômicos com medidas de desenvolvimento sustentável, que preservem o meio ambiente. Nos últimos anos, está ocorrendo um crescimento considerável da população humana presente no planeta Terra, conseqüentemente, gerando um aumento da extração de recursos naturais para suprir as necessidades das pessoas. Esse fato pode ser exemplificado pelo desmatamento de grandes coberturas vegetais para a plantação de produtos agrícolas, por exemplo, o trigo e a soja, assim como, pela disputa entre alguns países para dominarem o mercado mundial. Para suprir as necessidades do excedente populacional, que vêm sendo registrado nas últimas décadas, percebe-se que, cada vez mais, ocorre o aumento do consumo de certos tipos de insumos da construção civil, por exemplo, areia, brita e água, para a execução de estruturas que atendam a esse aumento de demanda, sobretudo, prédios, hospitais, escolas, viadutos, pontes, dentre outros. Em virtude disso, apesar de consideráveis melhorias que ocorreram nos últimos anos, cada vez mais a fauna e a flora presentes em diversos locais têm sido destruídas por ações antrópicas. Sustentabilidade refere-se ao princípio da busca pelo equilíbrio entre a disponibilidade dos recursos naturais e a exploração deles por parte da sociedade. O projeto da Casa PAS (Protótipo de Autoconstrução Sustentável) é uma edificação que foi construída utilizando-se de materiais oriundos da natureza, por exemplo, o bambu e o eucalipto, e recicláveis, como garrafas de vidro, embalagens *tetra pak* e pneus. Foram utilizadas técnicas construtivas sustentáveis, visando não agredir o meio ambiente, exemplificadas pela execução das fundações com blocos de pedra e a produção do tijolo de adobe e de solo-cimento. É um projeto de baixo custo, ecologicamente sustentável e que pode facilmente ser uma excelente alternativa para a construção de moradias em programas de habitação social.

## Aplicabilidade

No Brasil, apesar da realização de programas do Governo Federal nos últimos anos, como é o caso do “Minha Casa Minha Vida”, infelizmente, uma parcela significativa da população brasileira continua vivendo em péssimas condições de moradia. Isso pode ser exemplificado por edificações precárias, os “puxadinhos”, pela ausência de saneamento básico, pela falta de alimentação adequada, dentre outros. Em virtude desses fatores, é preciso que o Estado invista na produção de edificações de baixo custo e, principalmente, de qualidade para conseguir atender a demanda desses cidadãos que estão imersos em uma situação de desigualdade social, sofrendo com este triste problema. Além disso, o setor da construção civil é um dos mais importantes para a economia do território nacional, correspondendo a uma parcela significativa do PIB (Produto Interno Bruto) e, principalmente, sendo responsável por gerar renda e empregos. Infelizmente, é também uma área da indústria que consome grandes quantidades de recursos naturais, agredindo o meio ambiente onde atua. Em virtude dessas questões, projetos como o da Casa PAS (Protótipo de Autoconstrução Sustentável) são bastante importantes para reverter este quadro negativo que está presente no país e ao redor do mundo. Ademais, é válido ressaltar que, em muitos casos, a utilização de materiais sustentáveis, o reuso de resíduos que impactam os ecossistemas e de técnicas construtivas que não agridam o meio ambiente, são responsáveis por gerar uma excelente beleza arquitetônica em diversas construções. Tais procedimentos já estão sendo feitos por algumas construtoras.

## Objetivo

Este trabalho acadêmico busca apresentar os materiais e as técnicas construtivas que foram utilizadas para a construção da Casa PAS, visando contribuir para a preservação do meio ambiente e que contou com a parceria de diversas instituições de ensino do Ceará e de várias pessoas pertencentes a comunidade local em prol da sustentabilidade. Foram realizados multirões e *workshops*, cujo objetivo principal era disseminar as técnicas que estavam sendo utilizadas no projeto durante a construção da residência. Várias pessoas se voluntariaram, como mão de obra, para ajudar. Foram eventos que serviram também para arrecadar recursos financeiros para o trabalho que estava sendo feito. Por fim, este artigo científico visa demonstrar que este projeto pode ser um produto inovador e amplamente viável para ser utilizado em programas de habitação social realizados pelo Governo Federal.

## 1. Introdução

O setor da construção civil é um dos mais importantes para a economia do Brasil, representando uma parcela significativa do PIB (Produto Interno Bruto). É responsável por gerar emprego e renda para o país. Os investimentos em obras impulsionam diversas outras áreas importantes para o desenvolvimento urbano, que podem ser exemplificadas pela construção de moradias (diminuição do déficit habitacional), ampliação do saneamento básico (prevenção de doenças e melhoria da qualidade de vida da população) e a expansão da mobilidade urbana (construção de pontes, viadutos, túneis, metrô, malha ferroviária para Veículos Leves de Transporte

dentre outros). Todas essas questões, além de tantas outras, são responsáveis por facilitar o cotidiano dos cidadãos de um determinado local, além de melhorar certos aspectos negativos presentes em um país de grande extensão territorial, como o Brasil, no qual uma grande parte da população está imersa nas desigualdades sociais.

A Casa PAS (Figuras 1 e 2) está localizada no município de Aquiraz, no Condomínio Porto Lagoa. O arquiteto Bernardo de Oliveira Andrade, com o apoio de alguns colaboradores técnicos, foram os idealizadores do projeto. Entretanto, a ideia do empreendimento surgiu quando o primeiro estava estagiando voluntariamente no Novo México (EUA), em uma experiência de intercâmbio, onde conheceu Michael Reynolds. Este último constrói *Earthships* (casas autônomas de sistemas centralizados) para vítimas de catástrofes naturais [1].

Figuras 1 e 2: Vista da entrada e lateral esquerda da Casa PAS.



Fonte: Autores.

A obra teve início em 2016 e foi concluída em 2019. O projeto foi idealizado com o objetivo de trazer benefícios tanto para o meio ambiente quanto para as pessoas que irão morar nesta residência futuramente, pois há redução da degradação ambiental, baixa utilização de recursos naturais, como também, economia de água e energia [1].

Através da construção da Casa PAS, estão sendo divulgadas novas alternativas para reduzir a degradação ambiental e, conseqüentemente, diminuir a ocorrência do descarte incorreto de resíduos sólidos. Isso ocorre por meio de mutirões, *workshops* e pela atuação de um grupo de pesquisa de uma universidade (Figuras 3 e 4). Para a construção desta edificação foram utilizados materiais reciclados, reutilizados e oriundos da natureza, como bambu, eucalipto, garrafas de vidro, pneus de borracha, tijolo de adobe, madeira plástica dentre outros. Isso ocorreu com o intuito de que, futuramente, a população comece a utilizar esses materiais alternativos para evitar agressões ao meio ambiente, já que, de uma forma em geral, eles ainda são pouco utilizados [1].

Figuras 3 e 4: Mutirões e *Workshops* realizados na Casa PAS.



Fonte: Autores.

O arquiteto Michael Reynolds, por meio da sua organização *Earthship Biotecture*, foi responsável pela construção de dezenas de casas sustentáveis ao redor do mundo. A ideia deste profissional através deste conceito de moradia é de que não só estamos expostos a catástrofes naturais, mas que também somos vulneráveis a colapsos de sistemas de energia, combustível, água, esgoto e oferta de comida. Sem esses insumos, as nossas residências não iriam funcionar. Em decorrência disso, os seus projetos trazem uma proposta de como viver e interagir no planeta de uma forma equilibrada e sustentável, haja vista que estas casas atuam como uma espécie de embarcação que navega de forma a não depender de uma ligação com estruturas de fornecimento e de coleta externos ao edifício, como mencionado anteriormente. A própria residência produz o necessário para a sobrevivência e o bem-estar de seus moradores [2].

A construção de paredes utilizando pneus de borracha preenchidos com areia batida, com um grande talude antes deles, proporcionam a geração de uma grande massa térmica que evita as trocas de calor indesejadas. O uso de latas de alumínio e de garrafas de vidro como tijolos (para erguer as alvenarias) trazem iluminação natural e fazem com que sejam reduzidas as trocas de calor, comparando-se com uma mesma estrutura feita com tijolos cerâmicos convencionais [2].

Por meio de estratégias construtivas e projetuais, as *Earthships* utilizam de forma otimizada os benefícios de fenômenos naturais, por exemplo, a coleta da água da chuva pela cobertura da edificação para o seu abastecimento e a geração de energia elétrica pela captação de luz solar por painéis solares. Plantas frutíferas e hortas são cultivadas para suprir a necessidade de alimentação dos seus habitantes. O sistema de esgoto presente na residência é usado para adubar esses vegetais, para abastecer descargas sanitárias (como água de reuso, após ser filtrado e tratado naturalmente pelas plantas) e para regar pomares e jardins internos, desde que não tenham obtido contato direto com o ser humano [2]. Ademais, a Casa PAS é um projeto de moradia unifamiliar



Isso representa uma diminuição da atuação desta indústria no território nacional, o que contribui para a geração de diversos impactos negativos, principalmente, o desemprego. No ano de 2014, último em que o PIB teve variação positiva (cerca de 0,5%), o PIB da construção civil apresentou variação negativa (aproximadamente - 2,1%), conforme dados divulgados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) na época [3].

Além disso, constata-se que quando as famílias estão empregadas, recupera-se a sua capacidade de consumo, melhorando as vendas comerciais, conseqüentemente, aumentando a demanda da indústria. E isso representa benefícios também para o governo. A cada R\$ 100,00 investidos na construção civil, aproximadamente R\$ 25,00 voltam para os cofres públicos em forma de impostos [3].

Conforme dados estatísticos divulgados pelo Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis Residenciais e Comerciais de São Paulo (Secovi – SP) em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), entre 2015 e 2025, o Brasil precisará construir aproximadamente 14,5 milhões de moradias para suprir o déficit habitacional [3]. Isso demonstra o quanto o setor da construção civil é importante.

Contudo, apesar de todos os benefícios gerados pela indústria da construção civil, todo o crescimento gerado por ela vem acompanhado por uma série de problemas ambientais, por exemplo, poluição, desmatamento, aumento de microclimas, extinção de espécies animais e vegetais dentre outros. Em decorrência disso, cada vez mais torna-se necessário que novas técnicas construtivas sejam adotadas, para evitar a degradação do meio ambiente e de todos os seus recursos. Conseqüentemente, isso geraria uma indústria da construção sustentável, preocupando-se tanto no presente, quanto no futuro para as próximas gerações [4].

No Brasil, aproximadamente 40% da extração de recursos naturais não renováveis têm como objetivo a indústria da construção civil. Além disso, 50% da energia gerada destinam-se ao funcionamento das edificações, como também, 50% dos resíduos sólidos urbanos são oriundos de construção e de demolição [5] [6]. O Departamento de energia dos EUA informou que a construção civil consome 40% dos materiais brutos, e a Administração de Informações sobre Energia dos EUA registrou que as edificações liberam 40% de toda a emissão de gás carbônico, além de serem responsáveis por 40% da diminuição da camada de ozônio [5] [6].

No território brasileiro, estima-se que a produção de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) é superior a 70 milhões de toneladas por ano. Atualmente, apenas 6,14% desse volume produzido são reciclados e a maior parte é destinada a aterros inertes ou ilegalmente por outros meios, tais como terrenos abandonados e/ou a margem de estradas. Em virtude disso, o meio ambiente sofre diversos impactos ambientais como o assoreamento de rios e lagos, obstrução de sistemas de drenagem urbana, degradação das paisagens e a proliferação de vetores nocivos à saúde humana [7].

Nesse sentido, cresce a necessidade de reciclar e de reutilizar os materiais. É de suma importância, pois reduz o impacto ambiental, diminui a necessidade de construir aterros sanitários, impede a exploração de matérias-primas não renováveis e minimiza os

danos ambientais causados pela sua extração, incluindo o extenso desmatamento, poluição do ar e da água [7].

Atualmente, torna-se cada vez mais importante para a sociedade e a administração pública a questão da correta destinação dos resíduos sólidos gerados por atividades antrópicas. Todos os centros urbanos que, principalmente, tiveram um crescimento gradativo e desordenado da população, sofrem com graves problemas de limpeza pública. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) definiu os resíduos da construção como sendo aqueles gerados em elevações de edificações, reformas, reparos, demolições e em escavações no solo [8].

A Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi uma conquista que regulamentou e definiu a gestão dos resíduos da construção civil. Ela também atribuiu responsabilidades a cada membro gerador dos mesmos, no que diz respeito ao gerenciamento externo e interno, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. Podem ser classificados nas classes A, B, C e D. A classe A, por exemplo, abrange os tijolos, as telhas e a areia. Já os da Classe D, são formados por tintas, por vernizes e por solventes [8].

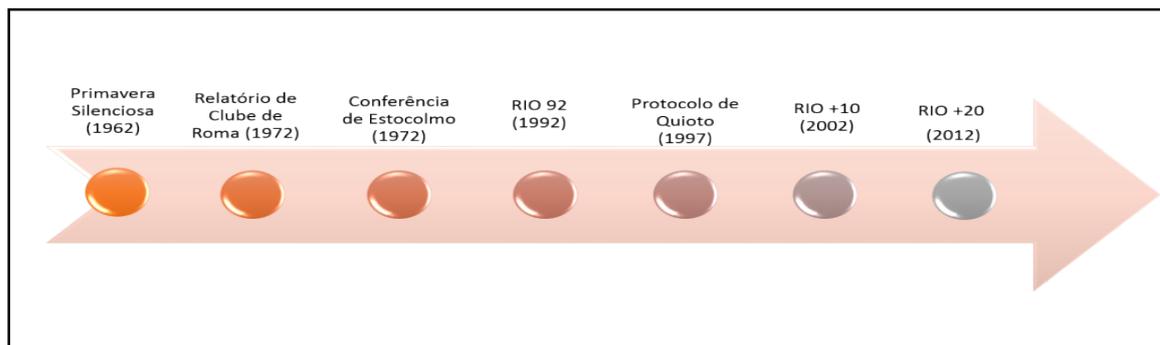
Por meio de pesquisas, constatou-se que um imóvel sustentável pode alcançar uma valorização de até 30% no mercado. Observou-se ainda que é possível obter uma economia de energia com esse mesmo patamar (até 30%), com a possibilidade de gerar até 95% da energia elétrica que é consumida por seus moradores, como também, pode-se obter uma redução de até 70% na conta de água. Além disso, há redução de 35% na emissão de carbono e diminuição de 50% a 90% do descarte de resíduos. Na maioria das obras que optam para o lado sustentável, ocorre um acréscimo de cerca de 5% a 15% em relação ao orçamento final. Todavia, constatou-se que são facilmente retornados no pós-venda, principalmente, ao que se refere à economia de energia e reuso de água [4].

Conforme Claro P., Claro D. e Amâncio [9], a principal definição de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável é permitir o bem-estar das populações no presente sem comprometer o bem-estar no futuro. Segundo Sachs [10], o conceito de sustentabilidade pode ser dividido em 5 tipos. O primeiro deles trata da sustentabilidade ecológica, referindo-se à preservação dos recursos naturais para que as gerações futuras possam utilizá-los. O segundo trata da sustentabilidade ambiental, que trata da sustentação dos ecossistemas, ou seja, é a substituição de materiais não renováveis por materiais renováveis, a diminuição de resíduos e utilização de tecnologias consideradas "limpas". Já a sustentabilidade social visa melhorar a qualidade de vida das populações, buscando a diminuição das desigualdades sociais, permitindo que todos tenham acesso à direitos e serviços como saúde e educação. E, a sustentabilidade política trata da garantia do real engajamento dos cidadãos dentro do âmbito do desenvolvimento. Por fim, a sustentabilidade econômica refere-se a garantia do desenvolvimento econômico e financeiro, ao mesmo tempo em que é preservado o meio ambiente e o bem-estar social [11].

A partir da segunda metade do século XX, em virtude de questões econômicas, cada vez mais os recursos naturais começaram a ser explorados desenfreadamente, conseqüentemente, aumentando a poluição e o desmatamento. Com isso, várias

organizações e líderes de todo o mundo começaram a se manifestar por meio de documentos, reuniões, livros e conferências, com o objetivo de buscar alternativas que buscassem minimizar ou mesmo solucionar os impactos gerados sobre o meio-ambiente [11]. Ao longo de todo esse período, foram criados e assinados diversos tratados, por exemplo, a Declaração de Estocolmo, a Agenda 21 e o Protocolo de Quioto. A Figura 7 mostra uma linha do tempo sobre a sequência dos eventos que ocorreram ao longo desta época.

Figura 7: Linha do Tempo: Histórico da Sustentabilidade até os dias atuais.



Fonte: Rodrigues (2018).

Conforme Leite [12], o termo “*Green Building*” refere-se à determinada construção que possui os principais atributos para ser considerada uma construção sustentável. Portanto, os elementos que caracterizam um Edifício Verde são: qualidade social; preservação dos recursos naturais; preservação e uso consciente da água; dentre outros. Ainda segundo o mesmo autor, uma das formas de se certificarem que determinadas habitações ou edifícios são de fato edificações ecológicas é com o uso das Certificações Ambientais. As principais certificações ambientais para construção civil que existem atualmente são: Certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e Certificação ou Selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) [11].

### 3. Casa PAS

A Casa PAS (Figura 8) fica localizada na Avenida Manuel Feliciano de Lima, nº 4027, lote 644, Aquiraz – Camará, no Condomínio Porto Lagoa. Para a sua construção, os principais materiais utilizados foram pneus, garrafas de vidro, lã de PET, embalagens *tetra pak*, bambu, eucalipto, madeira plástica, tijolo adobe, tijolo solo-cimento e madeira convencional. Alguns desses componentes foram obtidos por meio de doações, como no caso dos pneus de borracha e das garrafas de vidro. No entanto, outros itens foram produzidos diretamente na obra, por exemplo, os tijolos ecológicos.

Ao visualizar as figuras 9 e 10, percebe-se que foram feitas janelas (madeira e vidro) com beirais generosos, como também, foram feitas algumas paredes com garrafas de vidro. Esse procedimento foi realizado com a intenção de que a moradia tivesse uma excelente ventilação e iluminação no seu interior. Conseqüentemente, isso proporcionou

que os seus habitantes tivessem um conforto maior dentro dela.

Figura 8: Localização da casa PAS.



Fonte: Google Earth.

Figura 9 e 10: Exemplo de cômodo presente na Casa PAS.



Fonte: Autores.

O talude e o muro de arrimo foram feitos utilizando pneus de borracha [14], como mostram as Figuras 11 e 12.

Figura 11: Instalações Elétricas sendo instaladas em alvenaria de pneus de borracha na Casa PAS.



Fonte: Autores.

Figura 12: Acabamento das paredes de pneus.



Fonte: Autores.

Com relação a fundação e contra piso da Casa PAS foi utilizado um método tradicional para sua execução, portanto, não houve utilização de materiais ou métodos alternativos para a realização dessas atividades. No Brasil, em especial no Rio Grande do Sul, na época dos imigrantes, as fundações das residências na maioria dos casos eram construídas com pedras de arenito aparelhadas. Isso ocorreu pelo fato de ser facilmente trabalhada e esculpida, apesar de não impedirem a absorção de umidade (patologias entre o solo e os tramos do Enxaimel). Além disso, mostrou-se bastante eficiente para descarregar as cargas da estrutura para o solo [13].

As estruturas de vigas, pilares e paredes foram executadas através de alvenarias de tijolo solo-cimento, de adobe, de cimento, de ferro cimento e de garrafas de vidro e com o uso de pneus. Com exceção das fachadas leste e oeste, em virtude da presença do banheiro, do lavabo e da cisterna, toda a alvenaria da residência foi construída com tijolo de solo-cimento. Foram utilizados materiais dos tipos modular, canaleta, meio tijolo e piso. O tipo piso foi utilizado para dar início as primeiras fiadas de alvenaria, o modular e o meio tijolo para dar continuidade ao processo de elevação das mesmas e o canaleta para funcionar como cintas de amarração. Para o assentamento deles, foi utilizado uma argamassa polimérica, que foi dispersada de forma que o assentamento do tijolo de cima espalhasse o material [15].

Na Casa PAS também foi utilizado alvenarias de garrafas de vidro. Esta técnica consiste em realizar uma “amarração” a partir da argamassa de cimento de areia na proporção de 3:1 e as garrafas de vidro. Elas foram cortadas e unidas fundo a fundo. As mesmas devem estar secas para poderem apresentar uma boa execução na alvenaria. Após isso, as paredes puderam ser erguidas de acordo com a criatividade da disposição das garrafas [15] [16].

A parede de ferro cimento foi utilizado em dois ambientes, na execução da cobertura da laje do banheiro e na construção da cisterna. Esta técnica permitiu que a estrutura a ser construída adquirisse várias formas e modelos, por se tratar de uma tela de aço leve. As alvenarias de pneus foram executadas em toda a parede de fundo do quarto e em parte do fundo da cozinha. Foram utilizados pneus reciclados e estes foram cheios de areia e compactados para que pudessem formar uma estrutura resistente [15].

Foi adotado o uso de um ferro vertical a cada 1 metro de extensão de alvenaria de tijolo solo cimento com vergalhões de 10mm, contabilizando um total de 28 pontos de uso. Na ferragem horizontal foi utilizado o uso de duas barras de ferro 4.2mm nas contra vergas e um ferro de 10mm nas vergas. Foram acrescentados na viga da parede de garrafas 2 ferros de 16 mm e na cinta de amarração 1 ferro de 10 mm. O concreto foi utilizado em 28 pontos de ferragem vertical, nas vergas, contra vergas e nas cintas de amarração, além de uma viga no banheiro. Os componentes utilizados para a sua produção foram todos convencionais. O material possuía um traço de 1:5,5:4 e um rendimento de 0,14 m<sup>3</sup> [15].

A cobertura da Casa PAS teve itens diferentes do convencional, como a telha *tetrapak* e a técnica do ferro cimento, como também, o forro de bambu juntamente com a lã de pet e o madeiramento de vara de eucalipto. Esses últimos foram utilizados na cobertura, na sua armadura de sustentação, devido a sua resistência característica. O material foi coletado da natureza e passado por estudos laboratoriais para constatar que ele fosse capaz de atender os esforços nessa estrutura. No mercado existem diversos tipos de telhas que garantem um rendimento melhor, mais econômico e mais sustentável ao meio ambiente. É o caso da telha *tetrapak*, que reutiliza resíduos domésticos na sua fabricação. Ela não causa danos para a natureza, possui características de leveza, bom isolamento térmico e acústico, longa vida útil e boa relação custo benefício.

A residência em questão possui a maior parte da sua cobertura composta por este material, com exceção da laje da caixa d'água, na qual foi adotada outra técnica, o

ferro cimento. A lã de PET é proveniente da reutilização de garrafas PET, que seriam descartadas de forma incorreta no meio ambiente. O material foi utilizado em toda área de forro da moradia, menos na laje da caixa d'água, afim de obter uma melhor qualidade no isolamento térmico e acústico, principais características do material. Com isso, embalagens descartáveis no dia-a-dia, que são causadoras de transtornos ambientais, são retiradas do meio ambiente [15].

A madeira de bambu vem sendo bastante utilizada na construção civil, como revestimento, piso, decoração e até mesmo em funções estruturais. O forro de bambu foi utilizado na esteira da suíte. Foi aplicado também em um dos pisos da casa, nas juntas de dilatação. Foi utilizado também como substituto do aço na laje de concreto armado da caixa d'água. Para realizar o procedimento de madeiramento foi utilizado eucalipto de reflorestamento. O eucalipto tem função de sustentação da estrutura da cobertura. Por sua vez, o bambu atua na função de forramento, no quesito cobrimento e isolamento térmico, proveniente da lã de PET. As Figuras 13 e 14 mostram uma das aplicações desse componente no projeto.

Figuras 13 e 14: Cômodos da Casa PAS, um bambu no forro do teto.



Fonte: Autores.

O acabamento executado na Casa PAS passou por etapas comuns em toda residência, porém os materiais utilizados para realizar esses processos são pouco agressivos ao meio ambiente, como uso do reboco natural, pintura a base de tinta de tinta terra e à base d'água.

O reboco natural é uma técnica que utiliza terra, areia e água para a fabricação, no traço ou proporção de 1:1:2,5. A quantidade de água depende da variação da umidade da areia. Neste projeto, a técnica foi utilizada numa das paredes do quarto e em parte da parede de fundo da cozinha. Isso trouxe economia com serviços de chapisco, emboço e reboco, assim como, sustentabilidade ao meio ambiente [15].

O uso da tinta à base d'água vem crescendo no país principalmente pela sua rápida secagem, fácil aplicação e diluição do seu material em água, impedindo assim o cheiro forte. Para o consumidor, essas são as características atrativas desse material. Já para o meio ambiente, o uso da água para diluir a tinta provoca uma menor agressão ao

meio ambiente, comparado aquela fabricada por de diluição em solvente. O rendimento da tinta à base d'água é de em média de 150 m<sup>2</sup>. Na Casa PAS a tinta com diluição em água foi aplicada na forma de duas demãos em todas as alvenarias, com exceção do quarto, onde foi utilizado a técnica da tinta de terra e nas alvenarias de pneu [15].

Utilizando insumos de terra, água, cola e pigmentos (para adquirir a cor desejada) a tinta terra torna-se isenta de emissão de qualquer poluente ao meio ambiente e aos usuários. Na Casa PAS foi utilizado em toda área do quarto e nas alvenarias de pneus e adobe. Ela foi fabricada no próprio local. Algumas dificuldades na aplicação foram encontradas por conta do traço da mistura e do teor de umidade dos materiais. A composição de terra, cola e água adquiriu um traço de 7kg:1kg:10L [15].

As tecnologias sustentáveis utilizadas na Casa PAS foram captação da água da chuva (abastecimento hídrico) e célula botânica. Entretanto, o projeto inclui ainda a instalação de placas fotovoltaicas como forma de geração de energia. Como se trata de uma habitação unifamiliar, tem-se uma baixa demanda. Esse sistema conta com o uso de calhas, cisterna, motor de ½ cv e cobertura. Para que seja eficiente, ele depende da capacidade de captação de água a partir da área da cobertura e do volume de estocagem. Isso é atingido com uma precipitação pluviométrica de cerca de 110 mm [15].

As calhas são dispositivos que coletam e encaminham toda a água que escorre da cobertura (Figura 15). Ela possui um comprimento de aproximadamente 10 metros, estendendo-se ao longo de toda a residência. Assim, todo esse líquido é armazenado na cisterna, que fica localizado no fundo da edificação. A mesma possui um formato circular, com capacidade de abastecimento de 9 mil litros de água. Junto com a caixa d'água, dispõe-se de 10 mil litros de armazenamento. A cisterna foi toda executada a partir da técnica de alvenaria de ferro cimento [15].

Figura 15: Calhas da Casa PAS.



Fonte: Autores.

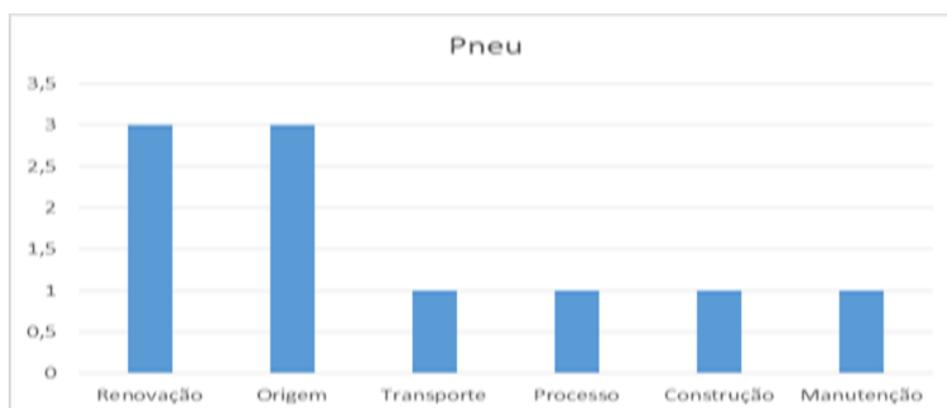
O motor é um equipamento responsável por levar toda a água da cisterna até a caixa d'água localizada na laje da residência, no ambiente de lavabo e depósito. Como mencionado anteriormente, a cobertura também atua nesse processo de captação de água, por meio da sua área de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> [15].

#### 4. Pegada Ecológica

Pegada ecológica, seja de um país, de uma cidade ou de uma pessoa, corresponde ao tamanho das áreas produtivas de terra e de mar, necessárias para gerar produtos, bens e serviços que sustentam diversos estilos de vida. É necessário estudar os diversos tipos de territórios produtivos, como pastagens, oceanos e florestas, como também, as diversas formas de consumo, por exemplo, habitação, energia e transporte. As tecnologias usadas, os tamanhos das populações e outros dados, também entram neste cálculo. Cada tipo de consumo é convertido, por meio de tabelas específicas, em uma área medida em hectares [17].

Após o término da construção da Casa PAS, elaborou-se uma tabela no *Excel* para fazer uma avaliação da pegada ecológica na obra em questão. Para isso, foram considerados todos os materiais utilizados (madeira plástica, madeira de demolição, eucalipto, bambu, *Tetra Pak* dentre outros), a origem dos componentes, a questão da renovação, o transporte, a fabricação, o uso da água, a construção, a manutenção e o destino. O Gráfico 1 apresenta o exemplo da análise dos pneus.

Gráfico 1: Pegada Ecológica dos Pneus.



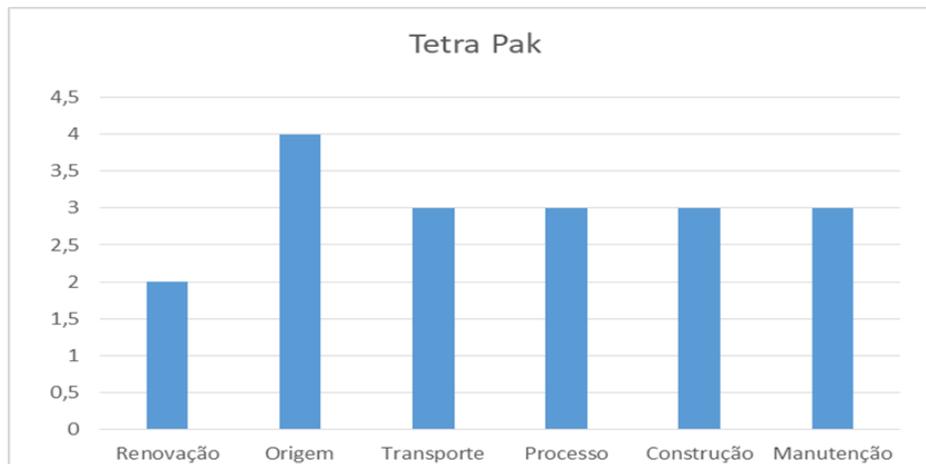
Fonte: Pinto (2019).

O Gráfico 1 apresenta a pontuação de pegada ecológica (PE) que os pneus adquiriram durante toda a construção da casa. Trata-se de um material não renovável, reutilizável, que foi obtido na região (por meio de transporte de caminhão de um município para outro). De acordo com o gráfico, eles obtiveram resultados satisfatórios, por causa da facilidade de acesso e dos baixos custos, já que todo o procedimento foi feito manualmente. A manutenção do muro de arrimo e do talude, formado pelos pneus, pode ser feita a cada 5 anos, por causa das suas características. Portanto, foi possível concluir que, apesar desse componente, na maioria dos casos, ser bastante agressivo ao meio ambiente, com a sua utilização na Casa PAS, a pegada ecológica e os impactos ambientais foram reduzidos [1].

As embalagens *tetra pak* (Gráfico 2), foram utilizadas para a fabricação do telhado, com o intuito de reduzir o descarte incorreto desse material no meio ambiente, sem tratamento prévio, como também, para reduzir o uso de recursos naturais. Neste

empreendimento, foi utilizado para a geração de conforto térmico e tratamento acústico. Portanto, apresentou bom custo benefício.

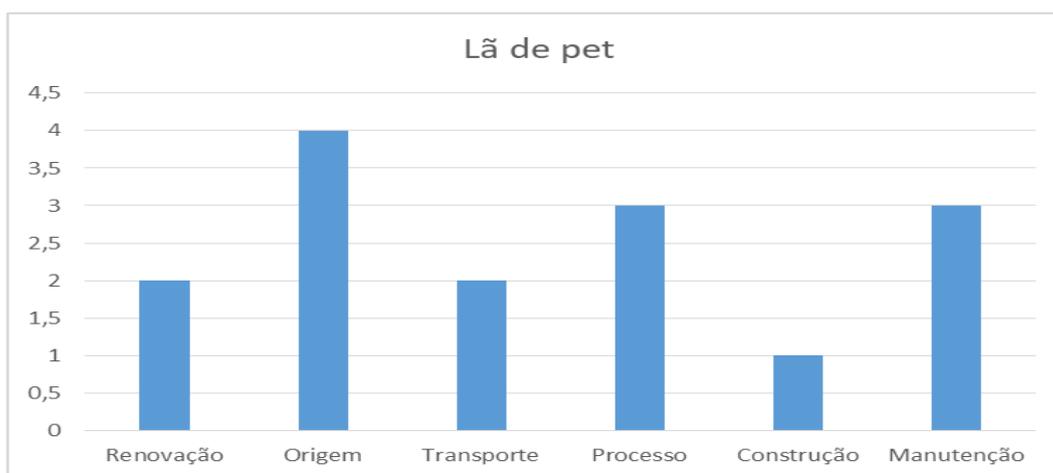
Gráfico 2: Pegada Ecológica de Embalagens *Tetra Pak*.



Fonte: Pinto (2019).

Após analisá-lo, foi possível observar que os resultados não foram muito satisfatórios. Isso ocorreu, principalmente, em virtude da dificuldade de se encontrar o material. Esses componentes foram caracterizados por índice de renovação baixo, provindos de resíduos recicláveis, como também, é um material industrializado, sendo transportado do estado de São Paulo. Além disso, para ser aplicado na Casa PAS, ocorreu o uso de ferramentas elétricas, sendo necessária manutenção regular. Em decorrência desses fatores, isso influenciou para que ele apresentasse uma alta pegada ecológica, comparado com outros materiais [1]. O Gráfico 3 mostra a avaliação desse índice feita para a lã de PET.

Gráfico 3: Pegada Ecológica para a Lã de PET.



Fonte: Pinto (2019).

Para compor o telhado da casa PAS, também foram utilizadas as lãs de PET (Gráfico 3), com o intuito de garantir o conforto térmico. Esse material é caracterizado por apresentar um índice de renovação baixo, em razão do reuso de garrafas PET. Além disso, é reciclável e industrializado. Foi transportado de Fortaleza para Aquiraz, ocorrendo a utilização de maquinário elétrico para ser aplicado na habitação (uso de recursos naturais para a produção de energia, como a água), de forma manual. É preciso ressaltar que a manutenção precisa ser feita regularmente. Todos esses fatores mencionados anteriormente influenciaram para o aumento da Pegada Ecológica, além da utilização de combustível pelos caminhões, poluição do ar gerada pelo transporte, compactação de terra dentre outros [1].

## Conclusão

Diante do exposto, pode-se concluir que a Casa PAS é um projeto que, futuramente, pode torna-se bastante benéfico tanto para as pessoas quanto para o meio ambiente, tendo a possibilidade de atingir todas as classes sociais, sobretudo, em projetos de habitação social. Isso ocorre, pois, para a construção dessa edificação foram utilizados materiais reciclados, reutilizados e oriundos da natureza, como garrafas PET, pneus de borracha, embalagens *tetra pak*, tijolo de adobe dentre outros. O uso desses componentes, em canteiros de obras, pode influenciar na redução dos custos do empreendimento, diminuição de desperdícios e principalmente evitar agressões a natureza. Além disso, eles possuem a tendência de serem mais baratos, como também, podem contribuir para causar uma enorme beleza arquitetônica nessas edificações.

O uso de materiais de construção ecologicamente corretos é de extrema importância tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade, pois em casos de descartes incorretos, eles podem contribuir para degradação do ecossistema. Consequentemente, preservando a natureza e evitando malefícios para a saúde das pessoas. Por exemplo, nos oceanos, existe uma grande quantidade de micro plásticos, que ocasionam diversos riscos para os animais e para os seres humanos. Utilizando essa matéria-prima para a produção da madeira plástica, esse material contribuiria para a preservação ambiental, sobretudo, fazendo com que tanto a população quanto a fauna e a flora fossem protegidas. Além disso, a reutilização de itens que são descartados incorretamente por uma parcela significativa dos cidadãos, como garrafas de vidro, latas metálicas, embalagens *tetra pak* dentre outros, contribui para evitar enchentes em grandes centros urbanos (entupimento dos bueiros em decorrência do acúmulo de lixo) e para evitar a ocorrência de doenças, como a leptospirose e a dengue.

Por fim, por meio da realização desse estudo de caso, é possível observar que a construção da Casa PAS (Protótipo de Autoconstrução Sustentável), e pesquisas mais aprofundadas, principalmente, com a busca de novos materiais e do surgimento de novos métodos construtivos, tem uma enorme possibilidade de se tornar uma construção bastante viável. Isso poderia ocorrer por meio da atuação de diversos pesquisadores, de várias áreas, colaborando juntos em grupos de pesquisas de universidades, assim como,

em programas sociais de habitação popular promovidos pelo Governo Federal, por exemplo, o Minha Casa Minha Vida.

## REFERÊNCIAS

[1] PINTO, Lorena Franklin. **NOVAS ALTERNATIVAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL A PARTIR DE MATERIAIS ECOLOGICAMENTE CORRETOS: UM ESTUDO DE CASO DA CASA PAS – PROTÓTIPO DE AUTOCONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**. 2019. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Geografia: Educação Ambiental, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2019. Cap. 1.

[2] MONTEIRO NETO, João Airton de Almeida. **SUSTENTABILIDADE EM CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS**: uma proposta de habitação de interesse social. 2015. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2015. Cap. 6.

[3] Portal G1. **Por que o Brasil precisa da construção civil para voltar a crescer: Setor tem impacto direto na geração de empregos e na melhoria de áreas como infraestrutura e habitação**. Disponível em: <https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/por-que-o-brasil-precisa-da-construcao-civil-para-voltar-a-crescer.ghtml>. Acesso em: abril de 2020.

[4] GOMES, Arthur Ribeiro. **O REAL VALOR DA SUSTENTABILIDADE EM OBRAS DE PEQUENO E MÉDIO PORTE DA CIDADE DE FORTALEZA E REGIÃO DO CARIRI**. 2019. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2019. Cap. 1.

[5] SHEEN, David. **Primeira terra: arquitetura ecológica integral**. 2 ed. 2006.

[6] BASTOS, Matheus Sousa Pinheiro et al. **Utilização de materiais alternativos em obras de construção civil: Estudo de caso da Casa PAS**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA UNIFOR, 24. 2018. Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Encontros Científicos 2018, 2018. p. 1 - 3.

[7] FERREIRA, R. L. S. et al. Avaliação das propriedades físicas, químicas e mineralógicas da fração fina. **Associação Brasileira de Cerâmica**, São Paulo, v. 65, n. 373, p.139-140, 26 out. 2018. Bimestral.

[8] MARQUES, Ismael Nunes. **DESTINAÇÃO ADEQUADA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2016. Cap. 1.

[9] CLARO, Priscila Borin de Oliveira; CLARO, Danny Pimentel; AMÂNCIO, Robson. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. **R. Adm.**, São Paulo, v.43, n.4, p.289-300, out./nov./dez. 2008.

[10] BARBOSA, Gisele Silva. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, 4. ed., v.1, n.4, jan./jun. 2008.

[11] RODRIGUES, Bianca Maria Pereira. **ALVENARIA SUSTENTÁVEL COM UTILIZAÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO COMO ALTERNATIVA PARA EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE AQUIRAZ**. 2018. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2018. Cap. 2.

[12] LEITE, Vinicius Fares. **Certificação ambiental na construção civil – sistemas LEED e AQUA**. 2011. 59 f. Monografia – (Graduação em Engenharia Civil), Escola de Engenharia da UFMG, 2011.

[13] OLIVEIRA, Daniel Schommer de. **RESGATE DE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS MAIS SUSTENTÁVEIS: ANÁLISE E DESCRIÇÃO DO SISTEMA ENXAIMEL**. 2011. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Cap. 4.

[14] CASAS CONSTRUÍDAS INTEIRAMENTE COM MATERIAIS RECICLADOS - PG9. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GJIW4NBhBg>. Acesso em: abril de 2020.

[15] ANDRADE, Felipe Benício Silva. **ELEMENTOS DE UMA CASA SUSTENTÁVEL ESTUDO DE CASO: PROJETO “CASA PAS”**. 2019. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2019. Cap. 5.

[16] PAREDE DE GARRAFAS CASA PAS - Parte I - Blocos de garrafas de vidro. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_V97BJIPmho](https://www.youtube.com/watch?v=_V97BJIPmho). Acesso em: abril de 2020.

[17] WWF. O que compõe a Pegada? Disponível em: [https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/especiais/pegada\\_ecologica/o\\_que\\_compo\\_e\\_a\\_pegada/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/o_que_compo_e_a_pegada/). Acesso em: abril de 2020.