

Análise Comparativa de Telhas de PEAD Reciclado com Grafeno frente a Painéis Solares: um estudo sob a ótica da inovação frugal e tecnociência, como instrumento de desenvolvimento tecnológico e social

Autores

Sergio Assis Machado¹

Rosinei Batista Ribeiro²

Adilson da Silva Mello³

Francisco Del Moral Hernández⁴

Caio Fernando da Silva⁵

Resumo

A pesquisa surge da escassez de estudos relacionados ao Grafeno no contexto social e ambiental. Objetivo do estudo é analisar a aplicação de telhas de PEAD reciclado com Grafeno em relação aos Painéis Solares, através de uma visão de Inovação Frugal, baseada na Tecnociência, com o propósito de produzir energia limpa e acessível a uma maior parcela da população. Estão sendo realizados estudos ao redor do mundo sobre o Grafeno devido suas propriedades, e o Brasil se destaca por ser o segundo maior produto de grafite do mundo, minério do qual, também pode ser extraído o Grafeno. Para a análise, foi utilizada a metodologia de pesquisa, Designer Science Reserch (DSR) de forma comparativa, a fim de avaliar as capacidades de Inovação frugal das Telhas de PEAD reciclado com Grafeno diante de Painéis Solares. Esta inovação tecnológica de potencial social, contribui para a preservação dos recursos naturais, e atende a critérios técnico-científicos, podendo ser considerada uma forma de inovação frugal, pois busca maximizar o uso de materiais recicláveis como o PEAD e o Grafeno, que com os avanços tecnológicos podem ser reciclado infinitamente. A pesquisa mostra que as telhas recicladas de PEAD reciclado com Grafeno têm potencial para gerar energia limpa, reciclada e inclusiva, à medida que é capaz de atender as necessidades energéticas de uma maior parcela de consumidores, sobretudo aqueles que tem menor poder aquisitivo e seriam os maiores beneficiados, com redução da tarifa de energia, e por outro ponto estariam também contribuindo para o fortalecimento energético e ambiental no país.

Palavras-chave: Grafeno. Inovação frugal. Tecnociência.

Comparative Analysis of Recycled HDPE Roof Tiles with Graphene compared to Solar Panels: a study from the perspective of frugal innovation and technoscience, as an instrument of technological and social development

Abstract

The research arises from the scarcity of studies related to Graphene in the social and environmental context. The aim of the study is to analyze the application of recycled HDPE roof tiles with Graphene in relation to Solar Panels, through a vision of Frugal Innovation, based on Technoscience, with the purpose of producing clean energy that is accessible to a greater portion of the population. Studies are being carried out around the world on graphene due to its properties, and Brazil stands out for being the second largest producer of graphite in the world, an ore from which graphene can also be extracted.

¹ Mestrando no Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Tecnologias Sociais pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Orcid: 0009-0003-5903-2592

² Pós-Doutorado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, docente nos Programas de Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento, Tecnologias, Sociedade – UNIFEI e de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS. Orcid: 0000-0002-2150-4561

³ Doutorado em Ciências Sociais pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP e docente no Programa de Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento, Tecnologias, Sociedade – UNIFEI. Orcid: 0000-0002-1966-3686

⁴ Doutorado em Energia pela Universidade de São Paulo – PPGE-USP e docente no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS. Orcid: 0009-0007-5655-1548

⁵ Graduação em Desenho Industrial pelo Centro Universitário Teresa D'Ávila – UNIFATEA e bolsista nos Programas Institucionais PIBITI e PIBIC / Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS. Orcid: 0000-0002-9941-5489

For the analysis, the research methodology Designer Science Research (DSR) was used in a comparative way, in order to evaluate the frugal innovation capabilities of recycled HDPE roof tiles with graphene in relation to solar panels. This technological innovation with social potential contributes to the preservation of natural resources and meets technical-scientific criteria, and can be considered a form of frugal innovation, as it seeks to maximize the use of recyclable materials such as HDPE and graphene, which with technological advances can be recycled infinitely. The research shows that recycled HDPE roof tiles with graphene have the potential to generate clean, recycled and inclusive energy, as they are able to meet the energy needs of a greater proportion of consumers, especially those with lower purchasing power, who would benefit most from a reduction in energy tariffs, while also contributing to energy and environmental development in the country.

Keywords: Graphene. Frugal innovation. Technoscience.

INTRODUÇÃO

No contexto da busca pela sustentabilidade e das metas a serem cumpridas pelas nações, os painéis solares e as telhas de Grafeno são elementos geradores de energia limpa e sustentável. As telhas recicladas de PEAD com Grafeno surgiram como uma alternativa às telhas convencionais e aos painéis solares como elemento na geração de energia. Pelas propriedades do Grafeno, as telhas têm maior vida útil (cerca de 80 anos), capacidade de geração de energia e menor custo que os painéis solares, além da capacidade de cobertura e o fato de produzirem produtos limpos e ecologicamente corretos, pelo plástico ser de origem reciclada, um produto sustentável.

Assumindo essas características, a pesquisa busca avaliar se as aplicações de telhas recicladas de PEAD com Grafeno podem ser classificadas como um produto de Inovação Frugal, ou seja, uma forma de fazer mais com menos e otimizar recursos em benefício da população, comparando-as com painéis solares, e se esta tecnologia pode ser classificada como um conceito de tecnociência.

Neste cenário de apelo frugal, as telhas podem ter a conotação de um produto de inovação social, com características tecnocientíficas onde um produto, bem ou serviço, sob a ação de um ator social no processo produtivo, o modifica de forma quantitativa ou qualitativa, buscando atender às necessidades sociais dentro de um determinado contexto socioeconômico.

Dentro deste contexto o artigo explora a capacidade dos artefatos no cenário da Inovação Frugal baseado na Tecnociência com o propósito de produzir energia limpa acessível a uma parcela maior da população comparando a eficiência energética de telhas de PEAD recicladas com Grafeno e painéis solares.

1.2 Objetivo

O objetivo do estudo é analisar a capacidade de Inovação Frugal das telhas de PEAD reciclado com Grafeno frente aos painéis solares através da comparação de eficiência sob a ótica da Tecnociência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Inovação Frugal

As iniciativas de Inovação Frugal são geralmente atribuídas a países com economias emergentes onde existe uma grande parte da população na base da pirâmide, com necessidades sociais a satisfazer. No entanto, esta abordagem tornou-se relevante nas nações industrializadas, afetando a competitividade das indústrias locais a longo prazo e no estrangeiro (KOERICH; CANCELLIER, 2019).

A Inovação Frugal visa conseguir mais com menos, desenvolvendo novos produtos, serviços e processos que satisfaçam as necessidades essenciais dos consumidores, mas com recursos reduzidos (RADJOU; PRABHU, 2015). Comparada à Jugaad Innovation, que significa improvisação em hindi, a Inovação Frugal requer uma adaptação ágil antes de garantias concretas de uma solução (CASSIOLATO; SOARES; LASTRES, 2008).

Radjou, Prabhu e Ahuja (2012), destacam três princípios fundamentais: (1) a importância de fazer mais com menos, encontrando oportunidades na dificuldade; (2) a defesa da mente flexível do pesquisador, com menor comprometimento com padrões pré-estabelecidos; (3) a ênfase na simplicidade, evitando luxo ou sofisticação.

Também pode ser definido como uma solução para recursos escassos, desenvolvida sob recursos e restrições, para produzir bens acessíveis e aceitáveis para atender clientes que não podem pagar o equivalente convencional (HOSSAIN, 2016).

Assim, a frugalidade procura criar produtos e serviços básicos para um grande número de pessoas, seguindo a ideia de “fazer mais com menos” e proporcionar maior valor e benefícios utilizando menos recursos (RADJOU; PRABHU, 2015).

Em suma, Zeschky, Winterhalter e Gassmann (2014) observam que a Inovação Frugal procura soluções simples e eficientes para problemas complexos, sendo especialmente relevante em contextos de escassez de recursos tecnológicos, infraestruturais e financeiros, optando por extrair o máximo com recursos mínimos e adaptando tecnologias.

Algumas das razões para investir em Inovação Frugal são:

- O crescimento lento das economias desenvolvidas aumentará a procura por inovações frugais.
- As restrições ambientais aumentaram a procura de modelos de produção e consumo frugais.
- As sociedades em envelhecimento têm exigido novas abordagens às exigências de saúde e de assistência social.

Compreender que os mercados em rápido crescimento estão nas economias em desenvolvimento, onde os serviços e a procura frugais são elevados.

2.2 Inovação social

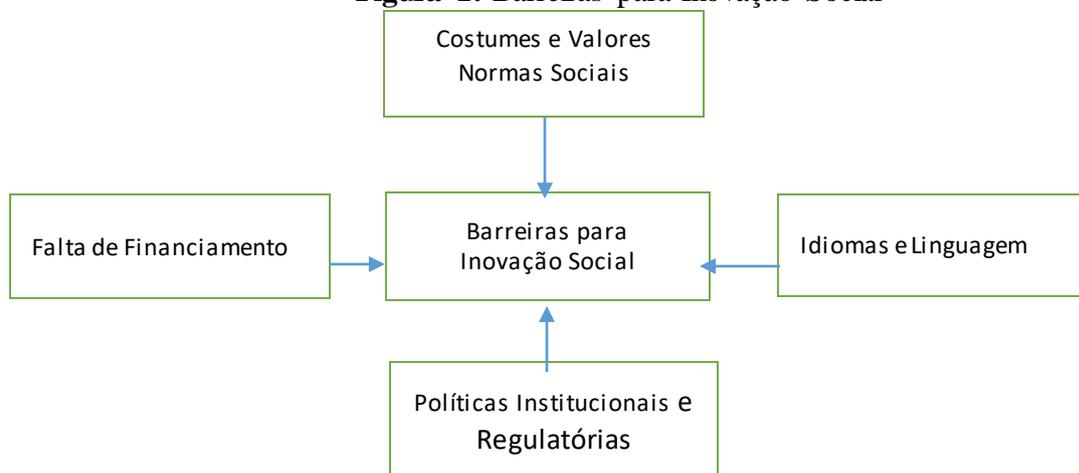
O termo “inovação com impacto social” inclui produtos, processos e serviços inovadores que abordam desafios sociais. O termo inovação social, como é conhecido hoje, ganhou importância no meio acadêmico com o trabalho de Taylor (PACHECO; SANTOS; SILVA, 2018)

Uma abordagem ampla pode incluir inovações desenvolvidas por grandes empresas, protegidas por direitos de propriedade industrial, e cuja geração visa o lucro, desde que tenham um impacto positivo nas demandas ou necessidades sociais. Cassiolato, cita como exemplo tanto soluções de alta tecnologia voltadas à saúde pública quanto soluções de baixa tecnologia, como a difusão de cisternas no semiárido brasileiro. A inovação social baseia-se na teoria social (que trata da interação entre diversos agentes), situando-se, portanto, nas interfaces entre governo, empresas e sociedade civil, que possuem distinções e estão amplamente protegidos entre si, nas suas respectivas lógicas de atuação, e mecanismos regulamentares, bem como problemas associados e capacidades limitadas de resolução de problemas (Howaldt; Domanski; Kaletka, 2016).

As “inovações com impacto social” incluem um segmento específico, genericamente denominado “inovação social ou tecnologia”, em que os grupos não só se beneficiam de tais tecnologias, mas também colaboram diretamente no seu desenvolvimento. O envolvimento entre atores, que possuem formas diferentes de explicar a realidade, dado que podem estar em situações diferentes (KOERICH; CANCELLIER, 2019)

A inovação social preocupa-se em reduzir a pobreza ou satisfazer as necessidades sociais, melhorar as condições de vida e procurar o bem-estar da comunidade, o que segundo a análise apresenta as seguintes barreiras (FEITOSA, 2022), conforme a Figura 1.

Figura 1: Barreiras para Inovação Social



Fonte: Feitosa et. al. (2022, p.786)

2.3 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

A sustentabilidade é um conceito que está fortemente relacionado com três pilares: social, ambiental e económico, juntos garantem as condições de sobrevivência do planeta e estão intimamente relacionados com o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”, que é definido como a satisfação das necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades. Este conceito foi definido pela primeira vez no Relatório Brundtland de 1987.

Pensando nisso, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em 2015 e eles formam uma agenda global para a construção e implementação de políticas públicas que visam guiar a humanidade até 2030.

A agenda inclui um plano de ação internacional para alcançar os 17 ODS, divididos em 169 metas, que abordam diversas questões fundamentais para o desenvolvimento humano, a partir de cinco perspectivas: pessoas, planeta, prosperidade, parceria e paz.

Este modo de desenvolvimento tem sido defendido pela Organização das Nações Unidas (ONU) desde a Cimeira de Nova Iorque em 2015, quando o então Secretário-Geral, Ban Ki-moon, afirmou: “O acordo abrange uma agenda universal, transformadora e integrada (...) Esta é a Agenda Popular, um plano de ação para acabar com a pobreza em todas as suas dimensões, de forma irreversível, em todos os lugares, sem deixar ninguém para trás” (ONU, 2015). O que se tem observado, e que é consistente com a realidade analisada por Amartya Sen, é que mesmo em países economicamente muito ricos existem grupos com expectativas e qualidade de vida mais baixas, para os quais a segurança económica não é uma realidade, e em países com democracia problemas, a situação de desigualdade é ainda maior (SEN, 1999).

O desenvolvimento sustentável deve promover a igualdade de direitos e oportunidades para todos e conduzir a um maior equilíbrio e justiça na distribuição da riqueza e no acesso aos recursos e serviços essenciais para uma vida digna, como a educação, a saúde, a alimentação e a habitação, e os direitos humanos, com o objetivo de promover maior equidade para os grupos mais desfavorecidos, permitindo e criando as condições para que prosperem e cresçam de forma independente.

Para compreender como se traduz um conceito que tem a função de determinar um modo de organização social e um modelo de socialização, note-se que o uso do termo sustentabilidade aparece mais diretamente associado às inovações tecnocientíficas, que assumem uma função estruturante entre as forças, descritas como ordens de conservação e dinâmicas de transformação, o que caracteriza uma estrutura molar para o conceito de sustentabilidade.

Assim, o elemento intersubjetivo no ato comunicativo da sustentabilidade é a tecnociência e suas inovações, tendo como referência valências que ora pendem para os efeitos

positivos da tecnociência na sociedade, ora para os efeitos negativos. Dessa forma, encontramos na tecnociência um vetor que tenciona as ordens de conservação e as dinâmicas de transformação do mundo (FISCINA, 2022).

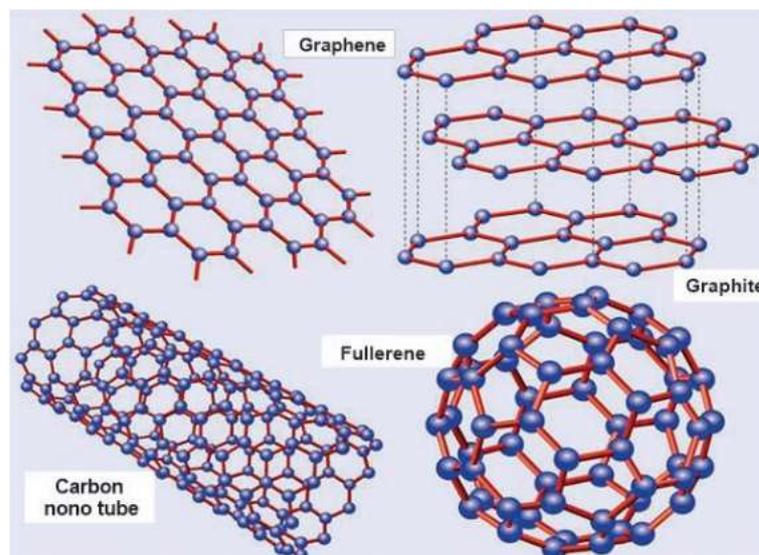
2.4 Grafeno

O Grafeno é uma camada plana de átomos de carbono dispostos em uma estrutura cristalina hexagonal, com apenas um átomo de espessura, e é o primeiro “material 2D” disponível para uso científico e tecnológico (BELLUCI; VASQUES; CONTI, 2021). Embora o termo Grafeno também seja utilizado para descrever materiais com multicamadas, defeitos estruturais ou funcionalização, que diferem da definição teórica, estes ainda possuem parâmetros altamente distintos e específicos.

Essencialmente, o Grafeno consiste em uma folha de átomos de carbono dispostos em uma estrutura hexagonal, semelhante a favos de mel, e é um alótropo de carbono (ARAUJO, 2022). Suas propriedades incluem maior resistência que o aço, maior condutividade que o cobre, maior mobilidade de elétrons que o silício e a capacidade de ser transparente (SUN; SHI; WU, 2011). Na Figura 2 é apresentado a estrutura esquemática da folha de Grafeno e outras três formas distintas de alótropos do carbono.

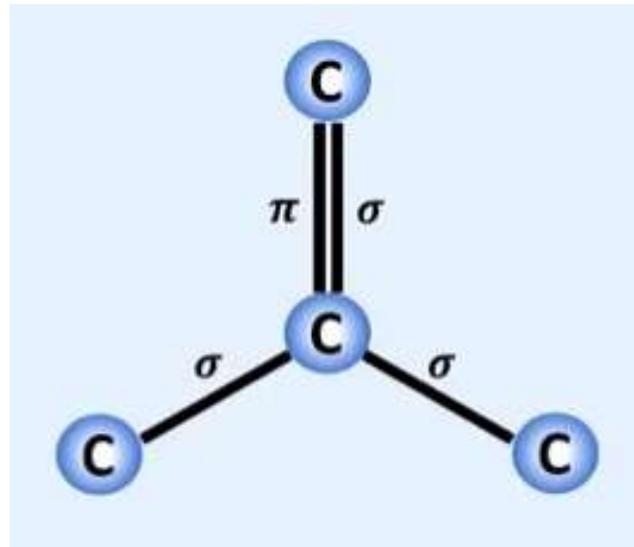
As ligações carbono-carbono são as ligações mais fortes encontradas na natureza, onde cada carbono se junta a outros 3 na estrutura. Portanto, a hibridização do átomo é sp^2 , que corresponde a 2 ligações simples e 1 ligação dupla. Figuras 3.

Figura 2: Estrutura esquemática da folha de Grafeno



Fonte: Jornal Pet News (2013)

Figura 3: Fórmula estrutural do Grafeno



Fonte: Toda Matéria. (2025)

A adição de nano cargas gráficas à matriz polimérica oferece a oportunidade de melhorar poliolefinas como o HDPE. Geralmente, a inserção de pequenas quantidades da carga Nano na matriz polimérica é suficiente para melhorar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas da poliolefina para aplicações de engenharia avançada (TRIPATHI, 2017).

2.5 Tecnologia social

A Tecnologia Social é entendida como “um conjunto de técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e por ela apropriadas, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida”. (Caderno de Debate, 2004)

O conceito de Tecnologia Social (TS) estabelece quatro (4) dimensões:

1. Conhecimento, ciência, tecnologia A TS começa com problemas sociais; O ST está organizado e sistematizado; ST introduz ou gera inovação nas comunidades.

2. Participação, cidadania e democracia ST enfatiza a cidadania e a participação democrática; ST adota metodologia participativa nos processos de trabalho; ST promove sua divulgação e reaplicação.

3. A Educação ST realiza todo um processo pedagógico; A TS se desenvolve num diálogo entre o conhecimento popular e o científico; as comunidades, que ganham autonomia, apropriam-se do ST.

4. Relevância social A TS é eficaz na resolução de problemas sociais; ST é ambientalmente sustentável; ST traz transformação social. Até 2015, as tecnologias sociais

contribuíram, de forma participativa e democrática, para os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) das Nações Unidas (ONU). Agora, com a Agenda 2030 da ONU e os seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), as tecnologias sociais são instrumentos importantes para a construção de um mundo mais justo, mais resiliente e sustentável. (ONU, 2015)

2.6 Tecnociência

A Tecnociência é a manipulação consciente dos processos de trabalho por um agente social, resultando na alteração do produto final de acordo com o contexto socioeconômico, as normas sociais e o ambiente de produção. Diferenciando-se da simples inovação e tecnologia, a Tecnociência se destaca como uma abordagem flexível e adaptativa para a gestão de conhecimentos diversos, promovendo a apropriação de resultados pelos agentes sociais em busca de mudanças nos sistemas de produção e consumo. Esta abordagem valoriza a propriedade coletiva dos meios de produção e a autogestão, visando atender às necessidades da comunidade através de redes de economia solidária (DAGNINO, 2020).

Idealizada como alternativa programática a termos como inovação (social, responsável, aberta, etc.) e tecnologia (social, sustentável, etc.), ela pode ser entendida como um modo (original, aberto, mutante e adaptativo) de agenciar (frequentemente mediante adequação sociotécnica da tecnociência capitalista) conhecimentos de qualquer natureza (científica, empírica, tecnológica, religiosa, ancestral...) e origem (acadêmica, empresas, povos originários, movimentos populares, excluídos...) por atores sociais que visam à apropriação de um resultado material derivado de mudanças no processo de produção e consumo de bens e serviços em redes de economia solidária, respeitando seus valores e interesses (propriedade coletiva dos meios de produção, autogestão, etc.), orientados prioritariamente à satisfação de necessidades coletivas.(DAGNINO, 2020)

Por um conceito genérico, Tecnociência é a decorrência cognitiva da ação de um ator sobre um processo de trabalho que ele controla e que, em função das características do contexto socioeconômico, do acordo social, e do espaço produtivo em que ele atua, permite uma modificação no produto gerado passível de ser apropriada segundo o seu interesse. Ou, mais simplesmente, Tecnociência é a decorrência cognitiva da ação de um ator social sobre um processo de trabalho que ele controla que permite uma modificação (qualitativa ou quantitativa) no produto gerado (no sentido genérico de output) passível de ser apropriada segundo o seu interesse. (DAGNINO, 2019).

Segundo Oliveira (2004), o conflito entre ciência e tecnologia também é responsável pelos problemas característicos da sociedade moderna. Ele defende que, no atual contexto de

hegemonia liberal, a Tecnociência compartilha a responsabilidade pelos problemas que assolam a humanidade, como a persistência da fome, da pobreza, da violência e das desigualdades sociais. Também contribui para a degradação ambiental, incluindo o esgotamento dos recursos naturais.

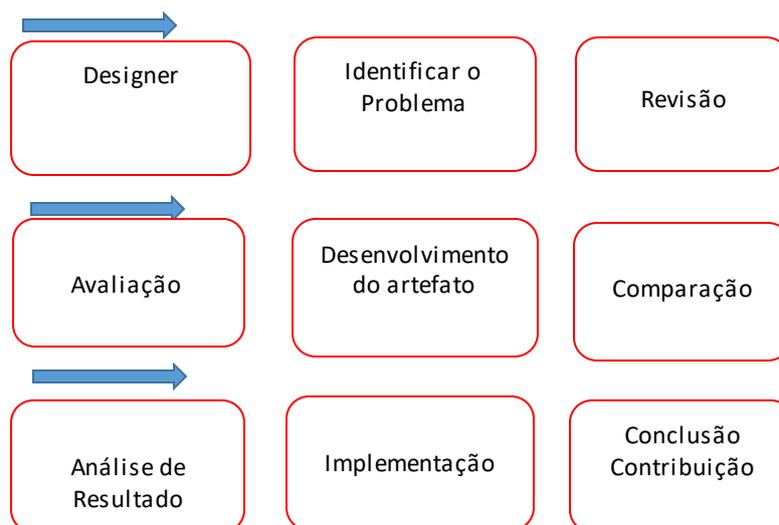
3 METODOLOGIA

Foi feita uma comparação entre as características de uma telha de PEAD reciclada com Grafeno, Figura 5, e um Painel Solar de 150w, Figura 6, que foram estudadas em relação à sua eficiência energética. As capacidades de geração de energia diária e mensal foram calculadas e aplicadas a uma faixa de consumo de energia de 30KWh, que pode ser extrapolada para consumos superiores.

Foi realizado um levantamento exploratório de teoria e ideias sobre Inovação Frugal, Tecnologia Social e Tecnociência para determinar se o artefato satisfaz o objetivo da pesquisa, Figura 4.

A metodologia a ser aplicada na pesquisa é a Designer Science Research: Segundo Simon (1996), a Design Science envolve um paradigma pragmático de pesquisa que busca criar artefatos inovadores para resolver problemas do mundo real. O DSR inclui esse foco no artefato, além de dar prioridade à relevância de sua aplicação. A DSR procura resolver problemas em vez de explicar uma realidade existente ou ajudar a compreendê-la (LIVARI; VENABLE, 2009).

Figura 4: Diretrizes para conduzir a pesquisa original da Designer Science



Fonte: Adaptado Autores

Figura 5: Telhas de PEAD com Grafeno



Fonte: Tecmundo (2021)

Figura 6: Painel Solar



Fonte: Made in China (2022)

A classificação da pesquisa utilizada no trabalho foi de natureza aplicada, objetivo exploratório, abordagens qualitativa e quantitativa e o método DSR – Design Science Research – adotado.

O desenvolvimento do trabalho baseou-se na aplicação do DSR para identificação do problema de pesquisa, que foi comparar a eficiência energética de telhas de PEAD com pastilhas de grafeno e painéis solares. As equações (1), (2), (3), (4) foram desenvolvidas para calcular a eficiência energética com base em um consumo de 30KWh, esse consumo satisfaz o consumidor na faixa da Tarifa Social, e nas características dos artefatos.

Tabela 1: Características da Telha de PEAD com Grafeno e Painel Solar utilizado

Elemento de Construção	Telhas de PEAD com Grafeno	Painel Solar 150w
Peso	7kg	11,5kg
Medidas	1,10 x 1.90 m	1,49 x 0,66 m
Geração de Energia	7.5 KWh/mês	15.18KWh/mês
Tempo de Garantia	80 anos	30 anos
Custo	R\$ 147,30 reais	R\$ 279,45 reais

Fonte: Autores – (2024)

Foi considerado:

Gmt: Geração mensal da Telha
Gdt: geração diária Telha
Gmp: Geração mensal Painel
Gdp: Geração diária Painel
n^t: número de peças Telhas
n^p: número de peças Painel
Get: Geração Total

Tabela 2: Equações utilizadas nos cálculos

$$Gdt = \frac{Gmt}{30day} \quad \text{Eq.(1)}$$

$$Gdp = \frac{Gmp}{30day} \quad \text{Eq.(2)}$$

$$Gmt * n^t = Get \quad \text{Eq.(3)}$$

$$Gmp * n^p = Get \quad \text{Eq.(4)}$$

Fonte: Autores – (2024)

4 RESULTADOS

Considerando uma residência com consumo de 30KWh/mês, que é considerada consumidor de baixa renda no Brasil, beneficiada pela Tarifa Social (BRASIL, 2023), e que recebe o benefício de pagar 65% da tarifa base, podem ser os maiores beneficiários dos artefatos.

Telhas de PEAD	Painel Solar
$Gmt = 7,5KWh/mês$	$Gmp = 15,18KWh/mês$
$Gdt = \frac{Gmt}{30dias} = \frac{250Wh}{dia}$	$Gdp = \frac{Gmp}{30dias} = \frac{506Wh}{dia}$
$Gmt * 4 = \frac{30KWh}{mês}$	$Gmp * 2 = \frac{30,36KWh}{mês}$

Tabela 3: Resultados Energia e Custo

	Telhas de PEAD com Grafeno	Painel Solar 150w
Partes	4	2
Geração Total(Get)	30KWh	30,36KWh
Custo	~ R\$ 589,15	~ R\$ 559,70

Fonte: Autores – (2024)

4.1 Discussão dos resultados

Os custos dos artefatos isolados são equivalentes para aproximadamente a mesma geração de energia, mas se considerarmos que as telhas são feitas de PEAD reciclado e que seu custo, segundo CicloVivo (2021), Tecmundo, (2021), Recicla Sampa, (2022) é 40% menor do que painéis solares. O custo de instalação de um painel solar é superior ao das telhas, que são

mais leves, têm maior capacidade de cobertura e exigem menos estrutura para sustentá-las. De acordo com o índice CUB (Custo Unitário Básico) estabelecido pela Lei Nacional nº 4.591/64, calculado pelo Sindicato da Construção Civil de cada região, a estrutura de cobertura representa entre 3,0 e 6,5% do custo de uma obra (SIENGE, 2022).

Os consumidores atendidos pela Tarifa Social têm suas necessidades energéticas atendidas com duas telhas de Grafeno, com menor custo de geração e conseqüentemente menor custo de instalação, o que beneficiaria uma parcela maior da população por meio da inclusão na geração de energia e obtenção de benefícios.

CONCLUSÃO

Conclui que as telhas fabricadas com PEAD e Grafeno reciclados promovem a sustentabilidade ao não dependerem de produtos à base de petróleo e ao incorporarem materiais recicláveis. Sugere também que avanços no desenvolvimento dessas telhas poderiam impulsionar a geração de energia limpa, tornando-as mais acessíveis, duráveis e economicamente viáveis. Esta inovação tecnológica e social contribui para a preservação dos recursos naturais e atende a critérios técnico-científicos, podendo ser considerada uma forma de inovação frugal, pois busca maximizar o uso de materiais recicláveis como o PEAD e o Grafeno, que com os avanços tecnológicos podem ser reciclado infinitamente.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, C. A. L. A.; Grafeno: Composição, Propriedades, Aplicabilidade e Perspectivas. Revista brasileira de Processos Químicos. dez.2022.

BELLUCCI, Felipe; VASQUEZ, Henrique; CONTI, Júlia. Panorama tecnológico do grafeno: contexto brasileiro e sua demanda por financiamento. Rio de Janeiro: Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), 2021. Disponível em: https://goto6solutions.com/images/blog/documentos/Grafeno_setorial_2021.pdf. Acesso em: 07 jan.2025.

CADERNO DE DEBATE. Tecnologia Social no Brasil. Instituto de Tecnologia Social.2004. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/politica_nacional/_social/Tecnologia_Social.html?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 07 Jan. 2025.

CASSIOLATO, J.; SOARES, M. C. C.; LASTRES, H. Innovation in unequal societies: how can it contribute to improve equality? In: SEMINARIO INTERNACIONAL “CIENCIA, TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN E INCLUSIÓN SOCIAL”, 2008, Montevideo. Anales... Montevideo: Universidad de la Republica, 2008.

CICLOVIVO. Telhas Solares Geram Energia com Grafeno.2021. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/telhas-solares-geram-energia-com-grafeno/>. Acessado em: 08 Jan. 2025.

DAGNINO, R.; *Tecnociência Solidária: Contribuições para uma Política de Ciência e Tecnologia Orientada para a Inclusão Social*.2019.

DAGNINO, R.; Gomes, E. Sistema de Inovação Social para Prefeituras. In: Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia para Inovação. Anais São Paulo, 2020.

DAGNINO, R; A hora e a vez da Tecnociência Solidária. *OUTRASPALAVRAS*.2021; Disponível em: <https://outraspalavras.net/tecnologiaemdisputa/a-hora-e-vez-da-tecnociencia-solidaria/>.Acessado em:08 Jan. 2025.

FEITOSA, M.J.S. et al. *Studies in Social Sciences Review*, Curitiba, v.3, n.3, p. 768-783, Jul./Sep., 2022

FISCINA, L. Sustentabilidade: um conceito de organização social das ordens de conservação e transformação do mundo. Universidade de São Paulo, Instituto de Psicologia, São Paulo, SP, Brasil. Volume 33, e200207, 2022. Disponível: <https://orcid.org/0000-0001-8927-9404>

Howaldt, Jürgen; Domanski, Dmitri; Kaletka, Christoph. (2016). SOCIAL INNOVATION: TOWARDS A NEW INNOVATION PARADIGM. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*. 17. 20-44. 10.1590/1678-69712016/administracao.v17n6p20-44.

HOSSAIN, M. Frugal Innovation: A Systematic Literature Review. *SSRN Electronic Journal*. 2016.

KOERICH, G. V.; CANCELLIER, É. L. P. D. L (2019). Inovação Frugal: origens, evolução e perspectivas futuras. *Cadernos EBAPE.BR*, 17(4), 1079–1093. <https://doi.org/10.1590/1>

LIVARI, J.; VENABLE, J. Action Research and Design Science Research – Seemingly Similar but Decisively Dissimilar. In: *EUROPEAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS*, 17. 2009, Verona.

MADE IN CHINA. Painel Solar. 2022. Disponível em: https://es.made-in-china.com/co_jh-888/product_Sun-Power-Supply-Dual-Axis-Solar-Tracker-Mono-Half-Cell-Panels-System_eerinruhy.html. Acessado em: 08 Jan. 2025.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Tecnologia Social*. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/politica_nacional/social/Tecnologia_Social.html. Acessado em:

OLIVEIRA, M.B. Desmercantilizar a Tecnociência. In: SANTOS, B.S (org.). *Um Discurso sobre a ciência revisitado*. São Paulo: Cortez, 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Agenda 2030*. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>. Acesso em: 8 Jan. 2025

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 7 jan. 2025.

PACHECO, A. S. V.; SANTOS, M. J.; SILVA, K. V. da. (2018) Dos objetivos ao surgimento de uma inovação social: um estudo de caso em uma organização da economia solidária. *P2P & INOVAÇÃO*, Rio de Janeiro, v. 4 n. 2, p.119-140.

PET NEWS. Estrutura esquemática da folha de Grafeno e alótropos do carbono.2013.

Disponível em:

http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/outubro2013/materias/inovacoes_tecnologicas.html

Acessado em: 07 Jan.2025

RADJOU, N.; PRABHU, J. Frugal Innovation: How to do More with Less. New York: Public Affairs, 2015.

RADJOU, N.; PRABHU, J. Frugal Innovation: How to Do More with Less. London: Profile Books, 2014.

RADJOU, N.; PRABHU, J.; AHUJA, S. Jugaad Innovation: Think Frugal, Be Flexible, Generate Breakthrough Growth. San Francisco: Jossey-Bass, 2012.

SEN, Amartya. Desenvolvimento como liberdade. Tradução Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia de Bolso, 1999.

SIMON, H. A. The sciences of the artificial. MIT press, 1996.

SUN Y., SHI G., WU Q. Graphene based new energy materials. *Jornal Energy & Environmental Science*. n. 4, p. 1113-1114, 2011.

TRIPATHI, S. N. et al. Polyolefin/graphene nanocomposites: a review. *RSC Advances*, [S. l.], v. 7, n. 38, p. 23615-23632, 2017.

Zeschky, Z.; Winterhalter S.; Gassmann O. (2014) From Cost to Frugal and Reverse Innovation: Mapping the Field and Implications for Global Competitiveness, *Research Technology Management*, 57:4, 20-27, <https://doi.org/10.>

BRASIL - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. “Tarifa social: saiba como funciona e quem pode pedir desconto” (n.d.). 19 out 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/tarifa-social-saiba-como-funciona-e-quem-pode-pedir-desconto>.

Acessado em: 08 Jan. 2025.

TECMUNDO. Telha solar com Grafeno é aposta da Telite para gerar energia. 25 jun 2021.

Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/219944-telha-solar-grafeno-aposta-telite-gera-energia.htm>. Acessado em: 8 Jan. 2025.

TELITE S.A. Telhas Solares. Disponível em: <https://www.telite.com.br/produtos>. Acessado em: 08 Jan. 2025.

TODA MATÉRIA. Fórmula estrutural do Grafeno.2025. Disponível em:

<https://www.todamateria.com.br/grafeno>. Acesso em: 07 Jan. 2025.

SIENGE. Custo da obra por etapa: Conheça os valores e Planeje-se. Disponível em:

<https://www.sienge.com.br/blog/custo-da-obra-por-etapa/2022>. Acessado em: 08 Jan. 2025.