

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL

CAIO REIS

Viabilidade de Telha de Plástico PEAD Reciclado

SANTOS
2024

CAIO REIS

Viabilidade de Telha de Plástico PEAD Reciclado

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, sob a orientação do Prof. Dr. Luis Felipe de Almeida Duarte.

SANTOS

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

628.445 REIS, CAIO.
R299v VIABILIDADE DE TELHA DE PLASTICO PEAD (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) RECICLADO / CAIO REIS.
2024.
55 f.

Orientador: LUIS FELIPE ALMEIDA DUARTE.
Coorientador: PAULO EDUARDO OLIVEIRA ANDRADE.

Dissertação (Mestrado) - UNIVERSIDADE SANTA CECILIA, Programa de pós-graduação em CIENCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL, Cubatão, SP, 2024.

1. Telha de plástico PEAD reciclado. 2. Redução da poluição plástica. 3. Materiais de Construção Sustentáveis. 4. Requisitos de qualidade. 5. Educação ambiental. 6. Viabilidade. I. DUARTE, LUIS FELIPE ALMEIDA. II. VIABILIDADE DE TELHA DE PLASTICO PEAD (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) RECICLADO.

Elaborada via formulário eletrônico, desenvolvido pelo SIBi Unisantia, com dados informados pelo autor(a). Bibliotecário responsável: Ana Maria Racioppi Silveira - CRB/8 - 1890

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e minha família, meus pais Carlos Eduardo Reis, não mais presente entre nós, e Fabiula Vicente Reis, minha noiva Raila Dornela de Oliveira e meus irmãos Lis Marie Freitas Reis e Dom Freitas Reis. Obrigado por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos e por acreditarem no meu propósito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me sustentado até aqui em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais, Carlos Eduardo Reis (*in memoriam*) e Fabiula Vicente Reis, meus irmãos Lis Marie Freitas Reis e Dom Freitas Reis, por todo amor e alegria que sempre me deram motivos para continuar. Pai, sei que esta presente em minhas conquistas, moleque doido.

Agradeço à minha família por tudo, por me apoiarem com todas as suas forças e por entenderem muitas vezes a minha ausência por motivos de trabalho e estudo. Em especial aos meus avós Jarizete Araujo Monteiro, Carlos Roberto Reis, Antônia Alves dos Santos da Silva e Gilson Vicente da Silva. Ana Maria Alves Wenceslau e Conceição Alves dos Santos (*in memoriam*).

Agradeço a minha companheira Raila Dornela de Oliveira, por todo amor e cuidado que sempre teve comigo e por suportar meus momentos de aflição com paciência. Obrigado por cuidar bem dos nossos filhos pet Lua e Sol, tenho certeza de que será uma ótima mãe para os nossos filhos. Obrigado por tudo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Felipe de Almeida Duarte, por todo ensinamento, conselhos, paciência e suporte ao longo do mestrado. Obrigado pela confiança e por sua irmandade.

Agradeço ao meu coorientador, Prof. Mr. Paulo Eduardo de Oliveira Andrade, por todo auxílio e apoio com seu laboratório desde o TCC até o mestrado. Obrigado por acreditar.

Agradeço ao Prof. Dr. Camilo Dias Seabra Pereira, pela oportunidade de ingressar no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPG-CTA) da Universidade Santa Cecília (UNISANTA) e por todo ensinamento que recebi em suas sabias aulas.

Agradeço a minha amiga e socia Leticia Parada, por toda a companhia nessa experiência que foi transformar uma dissertação de mestrado em um plano de negocio concretizado, tudo isso é só o início de tudo que há de vir.

Agradeço todos os professores os quais tive o prazer de aprender e evoluir ao longo da minha vida acadêmica, desde o primeiro contato com a educação até a minha formação como Mestre. Para esta, em especial, agradeço aos professores pertencentes aos Programas de Pós-Graduação (PPG) da Universidade Santa Cecília (UNISANTA).

Agradeço a Universidade Santa Cecília (UNISANTA).

Agradeço aos amigos que fiz ao longo desses dois anos de mestrado, obrigado por dividirem esse momento especial e ao mesmo tempo difícil da minha vida.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O meu mais sincero obrigado a todos que doaram material e a todos que contribuíram de alguma forma, para realização deste propósito.

EPÍGRAFE

*Tenho-vos dito essas coisas para que em mim
tenhais paz; no mundo tereis aflição, mas tende
bom ânimo, eu venci o mundo.*

Jesus Cristo, João 16:33.

RESUMO

O plástico, material amplamente disponível, é frequentemente descartado de forma inadequada, causando graves impactos ambientais e o acúmulo de resíduos plásticos representa um desafio ambiental significativo devido à sua natureza não biodegradável poluem o meio ambiente afetando diretamente a saúde única. No entanto, surgem novas formas de reutilizar esse material na construção civil, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e promovendo uma economia circular. A pesquisa está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e concentra-se no desenvolvimento de telhas utilizando Polietileno de Alta Densidade (PEAD) 100% reciclado e sem uso de aditivo. O objetivo é criar alternativa sustentável com alto desempenho comparado a materiais de construção tradicional, como telhas cerâmicas e de fibrocimento, onde a matéria prima é totalmente proveniente de extração da natureza. As telhas recicladas foram produzidas a partir da fusão de PEAD e no processo de produção, os materiais reciclados foram coletados, identificados, triturados e fundidos a temperaturas entre 200°C por uma hora e meia, seguida pela compressão em moldes metálicos e prensagem sob condições de pressão e tempo usando prensa hidráulica, as rebarbas e resíduos voltam para linha de produção inicial se tornando um ciclo de vida útil fechado. Ensaio realizados pela Falcão Bauer demonstraram que as telhas atendem às normas de qualidade da ABNT, com resistência à flexão, que atingiu valores médios de 2675 N/m, atendendo os requisitos mínimos. Além disso, a absorção de água foi inferior a 1,24%, indicando impermeabilidade, enquanto os testes de permeabilidade não detectaram nenhum transbordamento ou manchas após 24 horas de exposição à água. A análise econômica revelou um custo de produção por unidade de R\$ 3,21 demonstrando competitividade frente a materiais tradicionais como fibrocimento, especialmente considerando o benefício ambiental agregado. Os dados coletados em pesquisas de percepção apontaram aceitação significativa pelo público. Conclui-se que, a reutilização de plásticos reciclados na fabricação de materiais de construção, como telhas, não só contribui para a sustentabilidade e redução da poluição ambiental, mas também oferece produtos duráveis e de alta qualidade, promovendo um uso mais eficiente dos recursos e economia circular

Palavras-chave: Reciclagem. Plástico. PEAD. Telha. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Plastic, a widely available material, is often improperly discarded, causing severe environmental impacts. The accumulation of plastic waste represents a significant challenge due to its non-biodegradable nature, polluting the environment and directly affecting One Health. However, new ways to reuse this material in the construction industry have emerged, helping to reduce environmental impacts and promote a circular economy. This research aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) and focuses on developing roofing tiles made from 100% recycled High-Density Polyethylene (HDPE) without additives. The objective is to create a sustainable alternative with high performance compared to traditional construction materials, such as ceramic and fiber cement tiles, whose raw materials are entirely extracted from nature. The recycled tiles were produced by melting HDPE at temperatures of around 200°C for 1.5 hours, followed by compression in metal molds and pressing under controlled pressure and time using a hydraulic press. All leftover materials and waste are reintegrated into the production cycle, creating a closed-loop system. Tests conducted by Falcão Bauer confirmed that the tiles meet ABNT quality standards, with an average flexural strength of 2675 N/m, meeting the minimum requirements. Additionally, the water absorption rate was below 1.24%, indicating excellent impermeability, while permeability tests detected no overflow or staining after 24 hours of water exposure. The economic analysis revealed a production cost of R\$ 3.21 per unit, demonstrating competitiveness compared to traditional materials such as fiber cement, especially considering the added environmental benefits. Public perception surveys indicated significant acceptance. It is concluded that the reuse of recycled plastics in the production of construction materials, such as roofing tiles, not only contributes to sustainability and pollution reduction but also offers durable, high-quality products, promoting more efficient resource use and a circular economy.

Keywords: Recycling. Plastic. HDPE. Roofing Tile. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Material proveniente de doações de coleta domiciliar de família, amigos e parcerias da região.....	22
Figura 2. Tampinhas limpas e triadas, dentro do triturador para serem trituradas. (Esquerda) e armazenamento do material triturado, organizado e separado por cor.....	22
Figura 3. Aplicação de desmoldante (Esquerda) e adição do material triturado na forma (Direita).....	23
Figura 4. Material em estado de fusão, pós estar no forno por aproximadamente 2 horas a 200°C.....	24
Figura 5. Forma inserida na prensa hidráulica para ser submetida a pressão...	24
Figura 6. Telha retiradas da forma ainda com rebarba (Esquerda), rebarbas retiradas da telha em estado de acabamento (Direita).....	25
Figura 7. Rebarbas retiradas são armazenadas (Esquerda) e trituradas para voltar a linha de processo (Direita).....	26
Figura 8. Fluxograma das etapas de todo o processo.....	26
Figura 9. Corpo de prova submerso em água, isolado em recipiente impermeável para determinar a permeabilidade.....	35
Figura 10. Corpo de prova sendo pressionado por pistão em teste de flexão até romper (Esquerda) e corpo de prova rompido (Direita).....	36
Figura 11. Distribuição dos participantes por gênero, conforme as categorias apresentadas.....	39
Figura 12. Distribuição dos participantes por estado de residência.....	39
Figura 13. Distribuição dos participantes por nível de escolaridade.....	40
Figura 14. Distribuição dos participantes por renda.....	40
Figura 15. Distribuição dos participantes por familiaridade com o produto.....	40
Figura 16. Distribuição dos participantes por viabilidade das telhas.....	41
Figura 17. Distribuição dos participantes por intenção de uso.....	41
Figura 18. Distribuição dos participantes por informações adicionais desejadas sobre a telha.....	41

Figura 19. Distribuição dos participantes por influência do preço.....	42
Figura 20. Distribuição dos participantes por benefícios percebidos.....	42
Figura 21. Distribuição dos participantes por preocupação com o uso das telhas.	42
Figura 22. Distribuição dos participantes por viabilidade em construção de grande escala.....	43
Figura 23. Distribuição dos participantes por conhecimento sobre outras aplicações de plástico reciclado.....	43
Figura 24. Distribuição dos participantes por benefícios do uso de plástico reciclado na construção.	43
Figura 25. Distribuição dos participantes por uso de plástico reciclado na construção.....	44
Figura 26. Foto da telha vista de cima, apontada para o lado direito.	46
Figura 27. Foto da telha vista de baixo, apontada para o lado direito.	46
Figura 28. Foto da telha vista de lado, apontada para o lado esquerdo.	47
Figura 29. Foto do modo de instalação das telhas na estrutura, em forma de escamas de peixe.....	47
Figura 31. Oficina criativa para confecção de telhas e outros objetos de plástico reciclado.....	48
Figura 32. Oficina criativa para confecção de telhas e outros objetos de plástico reciclado.....	48
Figura 33. Palestra de educação ambiental e Exposição em grandes eventos dos objetos de plástico reciclado.....	49
Figura 34. Ilustração da análise de SWOT, com cada um dos itens citados anteriormente.....	51
Quadro 1. Características geométricas dos corpos de prova.....	33
Quadro 2. Espessura dos corpos de prova.....	34
Quadro 3. Resultados da determinação da permeabilidade.....	34
Quadro 4. Resultados Determinação da Massa e Absorção de Água.....	35
Quadro 5. Resultados da verificação da carga de ruptura à flexão.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
3Rs	Reduzir, Reutilizar e Reciclar
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Polietileno Tereftalato
°C	Graus Celsius
mm	Milímetro
N	Newton
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
PP	Polipropileno
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
CP	Corpo de Prova
MPa	Megapascal
N(kgf)	Newton (Kilograma-força)
RSC	Responsabilidade Social Corporativa
Kg	Kilograma
kWh	Kilowatt-hora
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças)
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	CARACTERÍSTICAS DO PEAD RECICLADO.....	16
2.2	PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE TELHAS DE PLÁSTICO.....	18
3.	METODOLOGIA	21
3.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA TELHA	21
3.2.	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA VALIDAÇÃO DA QUALIDADE DAS TELHAS RECICLADAS (PEAD).....	27
3.2.1	Medições Geométricas.....	28
3.2.2	Teste de Permeabilidade.....	28
3.2.3	Absorção de Água.....	28
3.2.4	Verificação da Flexão.....	29
3.3	INTRODUÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIO DAS TELHAS RECICLADAS.....	29
3.3.1	Percepção da População Sobre Telha de Plástico Pead Reciclado.....	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	ESTUDOS RECENTES.....	31
4.2	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS TELHAS DE PLÁSTICO PEAD RECICLADO.....	32
4.3	COMPARAÇÃO COM TELHAS CONVENCIONAIS.....	37
4.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	37
4.5	CUSTOS DE PRODUÇÃO.....	45
4.6	ANALISE SWOT (STRENGTHS, WEAKNESSES, OPPORTUNITIES AND THREATS)	49
4.7	POSSÍVEIS APLICAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS.....	52
5.	CONCLUSÕES	53
6.	REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

A adoção dos princípios dos "3Rs" (redução, reutilização e reciclagem) na gestão de resíduos plásticos é fundamental para a sustentabilidade ambiental. A produção de telhas a partir de polietileno de alta densidade PEAD reciclado é uma aplicação direta desses princípios, contribuindo para a redução da poluição e a criação de produtos com menor impacto ambiental (RANGEL *et al.*, 2023).

A utilização de polímeros reciclados como matéria-prima para materiais de construção tem ganhado destaque nos últimos anos, com foco na redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de plásticos. Dentre os polímeros mais utilizados, o PEAD se sobressai devido à sua resistência, durabilidade e facilidade de reciclagem. Essa tendência alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, particularmente nas metas específicas para a inovação em infraestrutura sustentável e redução da poluição plástica (GUNESEGERAN *et al.*, 2022).

O PEAD reciclado, combinado com outros materiais, como areia e outros polímeros, pode melhorar ainda mais suas propriedades mecânicas e térmicas, uma mistura de plásticos reciclados para a produção de pavimentos e telhas. Esses materiais compostos são capazes de suportar altas temperaturas e fornecer maior resistência ao desgaste e à deformação (SIDDIQUEE *et al.*, 2019).

A reciclagem de PEAD apresenta desafios técnicos, como a manipulação de suas propriedades mecânicas durante os processos de extrusão e injeção, pois existem alguns fatores cruciais na escolha do processo utilizado para cada produto e pode variar de acordo com o resultado esperado. No entanto, quando processado corretamente, o PEAD reciclado pode manter desempenho semelhante ao do PEAD virgem, tornando-o uma alternativa viável para a fabricação de telhas (INGABIRE *et al.*, 2018).

Análises térmicas e mecânicas de resíduos de PEAD indicam que o material reciclado possui propriedades específicas para sua utilização na construção civil, particularmente em telhas. A resistência à tração e a capacidade de suportar diferentes condições climáticas fazem do PEAD uma escolha específica para aplicações externas (COSTA *et al.*, 2016).

O PEAD possui características estruturais que o diferenciam de outros polímeros, como alta cristalinidade, leveza e resistência mecânica superior. Tais

propriedades fazem do PEAD um material adequado para aplicações que requerem alta durabilidade. (SIQUEIRA *et al.*, 2016).

A produção de telhas utilizando materiais reciclados, como o PET e o PEAD, busca não apenas oferecer uma alternativa sustentável, mas também reduzir o custo de produção e os impactos ambientais. A reutilização de resíduos plásticos em telhas pode contribuir significativamente para a economia circular, promovendo a reciclagem e a reutilização de materiais que, de outra forma, poluiriam o meio ambiente (TESKE *et al.*, 2015).

Telhas feitas de materiais reciclados, apresentam leveza, desempenho térmico e mecânico ou até superior às telhas tradicionais. Além disso, sua fabricação a partir de resíduos plásticos reduz a dependência de materiais primários não renováveis, ao mesmo tempo que diminui a quantidade de resíduos plásticos descartados em aterros (SILVA *et al.*, 2015)

A utilização de coberturas recicladas também pode influenciar positivamente o condicionamento térmico de ambientes rurais e urbanos, melhorando o conforto térmico e diminuindo a necessidade de climatização artificial. Essa abordagem contribui para a eficiência energética das edificações, além de promover a reutilização de materiais (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Em estudos sobre o desempenho térmico de telhas recicladas, foi observado que esses materiais podem contribuir para o conforto térmico de edificações, reduzindo a absorção de calor em climas tropicais. O uso de telhas recicladas pode ser particularmente vantajoso em regiões de alta incidência solar, onde a escolha do material de cobertura tem impacto direto no conforto térmico interno das construções (SAMPAIO *et al.*, 2011).

A previsão econômica da produção de telhas a partir de PEAD reciclado está diretamente relacionada à disponibilidade de resíduos plásticos e à capacidade de processamento do material. A implementação de tecnologias adequadas para a reciclagem de plásticos pode resultar em uma solução sustentável e economicamente viável para o setor da construção civil (CARVALHO *et al.*, 2011)

A sustentabilidade empresarial é um pilar fundamental para garantir a perenidade dos negócios, especialmente em um cenário de crescente escassez de recursos e desafios ambientais globais. De acordo com Almeida (2002), o sucesso no século XXI não será medido apenas pelo desempenho econômico, mas pela capacidade das empresas de contribuir positivamente para a sociedade e o meio

ambiente. Esse princípio pode ser aplicado ao desenvolvimento de telhas feitas de PEAD reciclado, demonstrando que soluções inovadoras e sustentáveis não só reduzem a poluição plástica como também agregam valor ao mercado da construção civil.

O presente estudo tem como objetivo principal investigar a viabilidade técnica da reutilização de embalagens pós-consumo de Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado na fabricação de telhas sustentáveis para o setor da construção civil. Para tanto, busca-se desenvolver uma metodologia de fabricação que permita otimizar a produtividade sem comprometer a qualidade do produto. Os objetivos específicos foram: 1) Analisar as propriedades físicas, mecânicas e a permeabilidade das telhas de PEAD reciclado em comparação com materiais tradicionais, como o fibrocimento, conforme as normas regulamentadoras; 2) Avaliar a aceitação do público quanto ao uso dessas telhas, trazendo uma extensão da educação ambiental gerada do estudo para a sociedade, e a análise dos custos de produção e do preço comercial em relação às telhas convencionais. Pretende-se contribuir para uma proposta socialmente educacional, economicamente viável e ambientalmente sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CARACTERÍSTICAS DO PEAD RECICLADO

Em termos de resistência ao calor, o polietileno de alta densidade PEAD reciclado mostra um desempenho robusto, especialmente em ambientes onde a temperatura pode variar drasticamente. Quando submetido a temperaturas de até 100°C, o material mantém sua resistência à tração e rigidez, o que o torna adequado para aplicações externas, como em telhas ou tubulações expostas ao sol. No entanto, acima dessa temperatura, começam a ocorrer alterações em sua estrutura cristalina, resultando em uma leve diminuição da resistência mecânica e no aumento da fragilidade do material (INGABIRE *et al.*, 2018).

O polietileno de alta densidade PEAD reciclado apresenta uma boa estabilidade térmica em comparação com outros polímeros, mantendo suas propriedades mecânicas em uma ampla faixa de temperaturas. O PEAD tem um ponto de fusão que varia entre 120°C e 135°C, dependendo da pureza e da homogeneidade do material. Esse intervalo de fusão é particularmente relevante em aplicações

industriais que requerem aquecimento moderado, já que o material mantém sua integridade estrutural até próximo dessas temperaturas sem sofrer deformações ou perda significativa de propriedades mecânicas (COSTA *et al.*, 2016).

O comportamento do PEAD reciclado frente a ciclos de aquecimento e resfriamento, demonstra que o material, quando reciclado, não apresenta uma perda significativa de suas propriedades mecânicas após múltiplos ciclos térmicos. Isso se deve à sua alta cristalinidade, que confere ao PEAD uma maior resistência ao amolecimento sob calor e ao encolhimento quando resfriado. Essa característica é essencial para aplicações em telhas, onde o material pode ser exposto a ciclos diários de aquecimento solar e resfriamento noturno (FERREIRA; SANTANA, 2015).

Além das propriedades mecânicas e térmicas, o PEAD reciclado destaca-se pela sua versatilidade em diferentes processos de fabricação. Um exemplo é sua utilização na extrusão de filmes tubulares, onde se observa que a variação na razão de sopro impacta diretamente as propriedades finais do material, como a espessura, a resistência à tração e a deformação. O PEAD reciclado, quando adequadamente processado, pode apresentar desempenho semelhante ao do material virgem, especialmente em termos de resistência à tração e elasticidade, o que o torna adequado para a produção de produtos plásticos de alta durabilidade (FERREIRA; SANTANA, 2015).

Outro aspecto importante a ser considerado no uso de PEAD reciclado é sua estabilidade durante o processo de reprocessamento. Estudos sobre o índice de degradação durante a extrusão e injeção do PEAD reciclado indicam que, apesar de ocorrer uma leve degradação térmica, o material mantém um desempenho aceitável em termos de fluidez e resistência mecânica após vários ciclos de processamento. Isso o torna um candidato viável para aplicações que exigem a reutilização de materiais plásticos sem comprometer significativamente suas propriedades essenciais (ROJAS-GONZÁLEZ; ARANZAZU, 2015).

Além de sua resistência térmica, o PEAD reciclado também mantém um desempenho mecânico estável sob temperaturas elevadas. Até cerca de 80°C, as propriedades como resistência à tração e rigidez permanecem praticamente inalteradas, enquanto a deformação plástica só se torna uma preocupação em temperaturas superiores a 100°C. Essa resiliência mecânica, combinada com sua capacidade de resistir à degradação térmica, torna o PEAD reciclado uma escolha

ideal para aplicações que exigem durabilidade sob variações térmicas constantes (ROJAS-GONZÁLEZ; ARANZAZU, 2015).

A análise termogravimétrica (TGA) do PEAD reciclado revela que o material começa a perder massa de forma significativa apenas a partir de 300°C e a temperatura de ignição varia entre 300°C e 400°C, o que confirma sua resistência à degradação térmica em faixas de temperatura moderadas. Isso é particularmente importante em processos industriais que envolvem exposição prolongada a fontes de calor, como na moldagem por injeção e extrusão. Nesses casos, o PEAD reciclado consegue suportar altas temperaturas sem se decompor ou liberar substâncias voláteis que poderiam comprometer o processo de fabricação (PEREIRA *et al.*, 2014)

Além da sua viabilidade técnica, o uso de PEAD reciclado oferece benefícios ambientais significativos, especialmente na redução de resíduos plásticos e na conservação de recursos naturais. O uso de plásticos reciclados na produção de telhas e outros materiais de construção contribui diretamente para a economia circular, onde os resíduos são constantemente reintegrados ao ciclo produtivo. Essa abordagem não só reduz o volume de plástico nos aterros, mas também diminui a necessidade de extração de matérias-primas virgens, resultando em uma menor pegada de carbono (COREÑO-ALONSO; MÉNDEZ-BAUTISTA, 2010).

2.2. PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE TELHAS DE PLÁSTICO

As propriedades mecânicas e térmicas previamente discutidas, o desenvolvimento de protótipos de telhas utilizando Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado também enfatiza a sustentabilidade do processo. O protótipo inicial de telha de PEAD reciclado demonstrou, sem testes técnicos, propriedades físicas aparentemente adequadas para aplicações em coberturas, incluindo resistência à tração, à compressão e absorção de água quase nula. Além disso, esse protótipo reforça o potencial do uso de resíduos plásticos na construção civil, contribuindo para a economia circular ao transformar resíduos em produtos com valor agregado. Esse avanço tecnológico é uma resposta eficaz ao problema do descarte inadequado de plásticos, propondo uma solução sustentável e economicamente viável para a produção de telhas (REIS, 2024).

As telhas feitas de Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado apresentam uma série de propriedades físico-mecânicas que as tornam competitivas em relação

às telhas tradicionais. Essas telhas possuem resistência à flexão superior à de telhas cerâmicas, especialmente com espessuras de 5 mm e 7 mm, com valores de resistência à ruptura de 740 N e 1307 N, respectivamente. Essas características permitem que o PEAD reciclado ofereça maior durabilidade e resistência a impactos, garantindo que as telhas suportem condições climáticas adversas sem comprometer sua integridade estrutural (GUNESEGERAN *et al.*, 2022).

Além disso, as telhas de PEAD reciclado oferecem vantagens ambientais significativas, conforme já mencionado. A utilização de plástico reciclado para a fabricação de telhas contribui para a redução da quantidade de resíduos plásticos destinados a aterros e diminui a necessidade de exploração de recursos naturais. Esse tipo de telha também se mostrou eficaz em testes de resistência ao calor, suportando temperaturas de até 120°C sem perder suas propriedades mecânicas essenciais, o que a torna uma escolha viável para áreas com grande exposição ao sol (NASEER *et al.*, 2019).

As telhas de PEAD reciclado também apresentaram bom desempenho em ensaios de compressão e tração. A resistência à compressão, por exemplo, foi avaliada em um estudo que utilizou uma mistura de areia e PEAD reciclado, revelando valores que variam entre 17,79 N/mm² e 26,15 N/mm², dependendo da proporção de areia utilizada na mistura. Esses resultados demonstram que as telhas de PEAD reciclado podem competir diretamente com telhas feitas de fibrocimento e outros materiais, tanto em termos de resistência quanto de custo-benefício (INGABIRE *et al.*, 2018).

Além da alta resistência mecânica, as telhas de PEAD reciclado também apresentaram baixa absorção de água, com índices próximos de 0,01%. Esse aspecto é fundamental para aplicações em coberturas, pois evita que o material sofra degradação por exposição contínua à umidade, o que contribui para sua longevidade em regiões com altos índices de precipitação. Essa baixa absorção de água também torna o PEAD reciclado menos suscetível ao desenvolvimento de microfissuras, características que agregam valor ao produto em termos de manutenção e custos, conforme mencionado por SILVA *et al.*, (2015).

Outra característica relevante das telhas de PEAD reciclado é a sua resistência a agentes químicos e intempéries. O PEAD reciclado demonstra uma alta resistência à degradação causada pela exposição contínua a condições climáticas adversas, como chuvas ácidas e variações de temperatura. Essa resistência química,

combinada com sua durabilidade mecânica, faz com que as telhas de PEAD reciclado tenham uma vida útil prolongada em ambientes externos (CARNEIRO et al., 2015)

Além disso, do ponto de vista da eficiência no uso de materiais reciclados, as telhas de PEAD também apresentam vantagens econômicas. Além de serem fabricadas a partir de resíduos plásticos que, de outra forma, seriam descartados, o custo de produção dessas telhas é significativamente inferior ao de materiais tradicionais, como telhas de cerâmica ou fibrocimento. Essa combinação de custo reduzido e alta durabilidade faz das telhas de PEAD reciclado uma solução sustentável e economicamente viável para o setor da construção civil (BARNABÉ et al., 2015).

Outro aspecto importante é sua resistência térmica. Estudos mostram que essas telhas mantêm suas propriedades físico-mecânicas mesmo quando expostas a variações de temperatura. Em um ambiente tropical, onde a radiação solar pode causar aquecimento excessivo das coberturas, as telhas de PEAD têm se mostrado eficazes em manter o conforto térmico, com temperaturas superficiais inferiores a materiais metálicos, por exemplo. Isso é atribuído à sua baixa condutividade térmica, que ajuda a minimizar o aquecimento interno das construções (SAMPAIO et al., 2011).

A análise das propriedades térmicas das telhas de PEAD reciclado revela que elas possuem capacidade de atenuação térmica. Quando comparadas a telhas de fibrocimento e cerâmicas, o PEAD reciclado promove uma redução significativa na temperatura interna das edificações, contribuindo para o conforto térmico, especialmente em climas tropicais. Em um estudo que avaliou a eficiência térmica de diferentes materiais de cobertura, as telhas de PEAD se destacaram pela sua capacidade de reduzir a carga térmica radiante em até 30% em comparação com telhas metálicas (FIORELLI et al., 2010).

3. METODOLOGIA

3.1. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA TELHA

No desenvolvimento deste projeto, foi implementado um aprimoramento significativo daquele desenvolvido por REIS (2024), tanto no processo de produção quanto no protótipo de telhas fabricadas a partir de Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado. Etapas foram utilizadas visando obter tal aprimoramento, começando pela coleta e triagem dos materiais plásticos, passando pela reciclagem eficiente e sustentável do material até a produção das telhas finais com características técnicas e de desempenho superiores.

O processo teve início com a coleta seletiva do plástico, focando principalmente em resíduos plásticos de PEAD, como tampas e embalagens descartadas. A coleta foi realizada em domicílio de familiares e amigos e em parceria com escolas, programas de reciclagem e catadores de resíduos, agregando valor ao trabalho social e garantindo um fornecimento constante de material para a produção (Figura 1). Após a coleta, o material foi cuidadosamente triado de acordo com seu tipo e cor, uma etapa crucial para garantir a uniformidade do produto. A triagem incluiu a separação de tampinhas de diferentes tipos de polímeros, como PP e PEAD, a fim de evitar a mistura de materiais que possuam diferentes propriedades físicas e químicas, ou que possam comprometer a qualidade do produto. Após a triagem, o plástico foi submetido a um processo de lavagem e secagem em uma máquina de lavar. Essa máquina foi ajustada para lavar o plástico coletado utilizando água tratada com cloro, garantindo a limpeza de impurezas como resíduos orgânicos e óleos. Além disso, a lavagem foi realizada com foco na sustentabilidade, que a água utilizada no processo de limpeza foi posteriormente reutilizada para limpeza de áreas externas, como quintais, após passar por um processo de tratamento. Após a lavagem, o plástico foi seco por meio de uma função centrífuga da mesma máquina, garantindo que o material estivesse completamente livre de umidade antes das etapas subsequentes de processamento.



Figura 01. Material proveniente de doações de coleta domiciliar de família, amigos e parcerias da região.

Com o material devidamente seco, foi triturado em um moinho (triturador), um processo que foi refinado para garantir uma granularidade consistente. O controle da granularidade foi importante para garantir que o descarte do material, na etapa posterior, ocorra de maneira uniforme, evitando problemas como bolhas ou falhas estruturais nas telhas produzidas. O material triturado foi então pesado e armazenado em recipientes específicos e específicos por tipo e cor, garantindo um fluxo organizado e eficiente no processo de produção. Esse sistema de armazenamento facilita a agilidade na produção ao reduzir o tempo necessário para a seleção de materiais na etapa de moldagem (Figura 2).



Figura 2. Tampinhas limpas e triadas, dentro do triturador para serem trituradas. (Esquerda) e armazenamento do material triturado, organizado e separado por cor. (Direita)

Antes da inserção do plástico triturado nos moldes, foi aplicado um desmoldante, silicone aerossol inofensivo ao meio ambiente, nas superfícies do molde para evitar a aderência do material, o que facilita a retirada da telha do molde após o processo de especificação e atualização. O molde utilizado foi projetado em bloco de alumínio, um material escolhido devido à sua alta capacidade de condução térmica e durabilidade. O uso de alumínio para os moldes contribuiu significativamente para a redução de desperdícios de material, uma vez que a precisão do molde minimiza a formação de volume de material residual a ser removido após o processo de moldagem (Figura 3).



Figura 3. Aplicação de silicone como desmoldante (Esquerda) e adição do material triturado na forma (Direita).

O processo de derretimento do material foi realizado em um forno elétrico controlado, equipado com termômetro e cronometro para garantir que a temperatura permaneça dentro da faixa ideal, entre 200°C por aproximadamente 2h (Figura 4). O controle preciso da temperatura foi essencial para evitar tanto a manipulação térmica do material quanto a formação de falhas no produto.



Figura 4. Material em estado de fusão, pós estar no forno por aproximadamente 2 horas a 200°C.

Após o derretimento, o material foi transferido para o molde de alumínio e submetido a um processo de compressão em uma prensa hidráulica. A prensa hidráulica utilizada no projeto foi ajustada com uma área de contato otimizada para garantir uma atualização uniforme em toda a superfície do molde. Essa etapa foi aprimorada para garantir que o produto tivesse maior densidade e resistência, atendendo assim aos requisitos de durabilidade e desempenho esperados para o uso em construções. O uso da prensa hidráulica também permitiu uma maior uniformidade na espessura das telhas, garantindo um acabamento mais consistente e reduzindo a possibilidade de falhas estruturais (Figura 5).



Figura 05. Forma inserida na prensa hidráulica para ser submetida a pressão.

Após o processo, as telhas passaram por um período controlado, que foi essencial para estabilizar o material e garantir a integridade estrutural do produto. O resfriamento foi realizado de maneira gradual, de modo a evitar danos internos no material que compromettesse sua resistência e durabilidade. Finalmente as telhas foram operadas visual e tecnicamente para identificar possíveis defeitos, como bolhas, falhas de especificações ou deformações. O material residual foi reintegrado ao ciclo de produção, criando um processo de ciclo fechado e minimizando o desperdício (Figura 6 e 7). A figura 8 resume todo o processo da confecção das telhas de PEAD.



Figura 6. Telha retiradas da forma ainda com rebarba (Esquerda), rebarbas retiradas da telha em estado de acabamento, entorno de 10% (Direita).



Figura 7. Rebarbas retiradas são armazenadas (Esquerda) e trituradas para voltar a linha de processo (Direita).

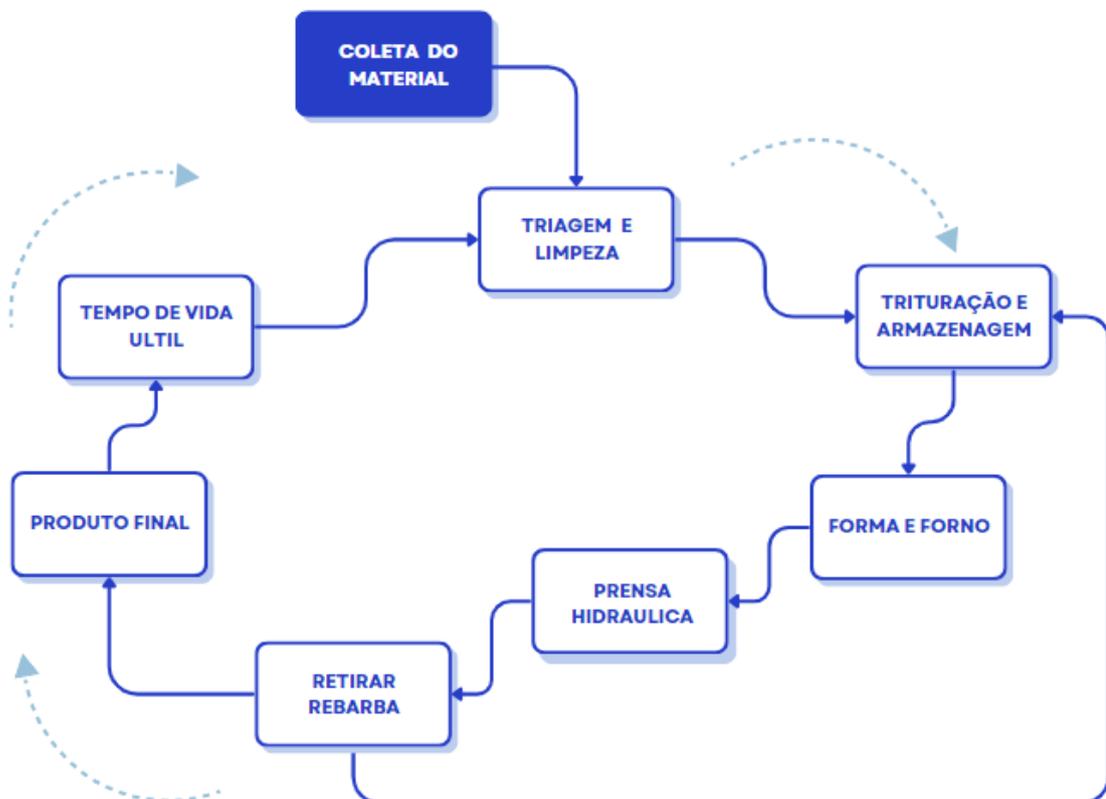


Figura 8. Fluxograma das etapas de todo o processo.

3.2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA VALIDAÇÃO DA QUALIDADE DAS TELHAS RECICLADAS PEAD

O desenvolvimento dos testes foi contínuo em colaboração estreita com um laboratório especializado da empresa Falcão Bouer, garantindo que as interrupções de fabricação das telhas de Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado sejam feitas meticulosamente ajustadas para melhorar tanto a qualidade quanto a durabilidade do produto. Esse processo visa garantir que cada etapa da produção seja realizada sob os mais altos padrões de controle e precisão, transferindo para a obtenção de um material capaz de atender e superar as exigências técnicas e ambientais do setor de construção. Os procedimentos experimentais foram documentados em detalhes pela renomada empresa Falcão Bouer, que dependeram dos ensaios laboratoriais com rigor técnico e seguindo as diretrizes condicionais da norma ABNT NBR 15210, especificamente para telhas de fibrocimento sem amianto. Essa escolha metodológica garantiu que as telhas de PEAD recicladas fossem avaliadas de acordo com parâmetros reconhecidos e amplamente aceitos no mercado, garantindo, assim, a comparabilidade dos resultados com os produtos convencionais utilizados no setor.

Os ensaios foram, portanto, realizados no período contínuo no centro tecnológico da empresa em São Paulo (SP), e envolveram a realização de quatro tipos principais de testes experimentais, foram usadas no total 12 telhas, sendo cada telha em si um corpo de prova. O primeiro deles, as medições geométricas, buscou avaliar as dimensões das telhas quanto ao comprimento, largura e espessura, garantindo a uniformidade das amostras. O segundo teste focou na verificação da resistência à flexão um parâmetro crítico para materiais de cobertura, avaliando a capacidade das telhas de suportar cargas sem apresentar deformações estruturais. Em seguida, foi conduzido o teste de permeabilidade, fundamental para verificar a capacidade das telhas de resistência à passagem de água, garantindo a integridade estrutural das coberturas. Por fim, o teste de coleta de água média a quantidade de água absorvida pelas telhas ao longo do tempo, sendo essa uma crítica variável para a durabilidade do material em ambientes expostos às condições climáticas. A metodologia de cada um destes ensaios é apresentada a seguir.

3.2.1 Medições Geométricas

As dimensões dos corpos de prova foram medidas em três intervalos: comprimento, largura e espessura. As circunferências de comprimento foram feitas no centro da amostra, com precisão mínima de 1 mm. Para a largura, foram feitas três longitudes — uma no centro e as outras duas a 50 mm e 100 mm da extremidade, para evitar áreas com cantos cortados. As espessuras foram medidas em seis pontos distribuídos em cristas e cavas das telhas, com precisão mínima de 1 mm. (Quadro 1 e 2)

3.2.2 Teste de Permeabilidade

Para este ensaio, o dispositivo foi posicionado sobre as telhas, garantindo estanqueidade. A telha foi então colocada a uma altura mínima de 900 mm do suporte do dispositivo. A água foi preenchida até 20 mm acima das cristas das ondas e a telha foi mantida em ambiente ventilado e sem incidência de vento por 24 horas. Após esse período, uma face inferior da telha foi examinada para verificar se houve manchamento ou transpassamento de água, o que seria um indicativo de falha na impermeabilidade do material. (Quadro 3)

3.2.3 Absorção de Água

As amostras foram imersas em água à temperatura ambiente por 48 horas, para saturação completa. Algumas amostras já foram imersas em água por 24 horas em testes anteriores e, portanto, foram submetidas a mais 24 horas de inscrição. Após a saturação, as amostras foram pesadas enquanto úmidas e, em seguida, secas em estufa a uma temperatura entre 100°C e 110°C por 24 horas. Após o resfriamento no dessecador, as amostras foram pesadas novamente para determinar o peso seco, e assim calcular a porcentagem de coleta de água. Temperatura: 22 °C, Umidade relativa do ar: 62%. (Quadro 4)

3.2.4 Verificação da Flexão

Este teste avaliou a resistência à flexão das telhas. Os corpos de prova foram colocados sobre apoios, com a face superior comprimida perpendicularmente às ondas da telha. A carga entorno de 5000N foi aplicada de forma uniforme no centro da amostra, com um cutelo, e a carga máxima de ruptura foi registrada. O tempo necessário para a obtenção da carga de ruptura varia de 10 a 45 segundos após o início do ensaio. Este teste foi fundamental para verificar a capacidade das telhas de resistência e cargas externas sem fraturas. (Quadro 5)

3.3. INTRODUÇÃO DO MODELO DE NEGÓCIO DAS TELHAS RECICLADAS

3.3.1 Percepção da População Sobre Telha de Plástico PEAD Reciclado.

O conceito dos 3Rs (Redução, Reutilização e Reciclagem) revela a importância de uma acessibilidade ampla para o sucesso de políticas públicas e iniciativas ambientais. A valorização de produtos reciclados, como aqueles feitos de plástico, pode mitigar os impactos ambientais dos resíduos sólidos e promover uma economia mais circular. No entanto, para alcançar tal acessibilidade, é fundamental que a população entenda os benefícios de produtos sustentáveis, pois isso promove uma mudança de comportamento e fortalece a demanda por práticas ambientais corretas.

A sensibilização e educação da população, portanto, contribui para um papel fundamental na consolidação de uma sociedade que adota e apoia o uso do plástico reciclado (RANGEL *et al.*, 2023)

O conceito de desenvolvimento sustentável é fundamental para projetos que buscam conciliar inovação, responsabilidade ambiental e benefícios sociais. Almeida (2002) argumenta que a sustentabilidade depende de uma abordagem tripolar, que integra esforços do governo, das empresas e da sociedade civil. Essa interação dinâmica permite a criação de soluções inovadoras que equilibram crescimento econômico com a preservação ambiental e o bem-estar social. No contexto do desenvolvimento de telhas de PEAD reciclado, essa abordagem tripolar se manifesta na transformação de resíduos plásticos em produtos duráveis e de alta qualidade, contribuindo para a economia circular e para o alcance de metas ambientais e sociais, em linha com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ODS da ONU. Assim, o

projeto não apenas reduz o impacto ambiental, mas também promove o engajamento comunitário e a geração de valor econômico, demonstrando a viabilidade do desenvolvimento sustentável na prática.

Para avaliar a aceitação da população sobre as telhas PEAD reciclado como alternativa sustentável e como estratégia para reduzir a poluição ambiental, foi elaborado e aplicado um questionário estruturado. O estudo foi realizado com 142 participantes, sendo 42 entrevistas presenciais e 100 coletadas online, com indivíduos maiores de 18 anos. O questionário abrangeu questões sobre o nível de conhecimento prévio dos participantes acerca do conceito de Redução, Reutilização e Reciclagem, sua percepção sobre o impacto ambiental do uso de plásticos reciclados e a viabilidade do uso de telhas de PEAD reciclado como material de construção e entregue como material de apoio um manual de instrução sobre educação ambiental (Anexo) confeccionada pelo autor como brinde educativo e forma de agradecimento pela atenção e participação dos ouvintes. A aplicação presencial visou obter respostas mais detalhadas e esclarecimentos em tempo real, enquanto a modalidade online ampliou o alcance e diversificou o perfil dos participantes.

Os dados coletados buscaram identificar o nível de aceitação e os fatores que influenciam a escolha por produtos sustentáveis, como telhas ecológicas, além de compreender a disposição dos consumidores em contribuir para práticas ambientais corretas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ESTUDOS RECENTES

Reis (2024) analisou o protótipo inicial de telhas PEAD reciclado em relação a transformar resíduos plásticos em produtos para a construção civil. Segundo o autor, a telha apresentou boa resistência mecânica, como à tração e ao impacto, além de baixa absorção de água, o que torna essas telhas adequadas para aplicações externas. O protótipo apresentou-se como uma solução viável para a substituição de telhas convencionais, como as de cerâmica e fibrocimento, oferecendo vantagens econômicas e ambientais significativas (REIS, 2024).

Outro estudo realizado na Malásia testou a produção de telhas utilizando 100% de garrafas plásticas recicladas de PEAD. As telhas demonstraram melhor resistência à flexão do que as telhas cerâmicas tradicionais, com uma resistência média à quebra de 740 N para telhas de 5 mm de espessura e 1307 N para telhas de 7 mm. Além disso, a absorção de água foi extremamente baixa (0,01%), o que indica que as telhas PEAD reciclado são adequadas para aplicações em ambientes externos e resistem a condições de alta umidade (GUNESEGERAN *et al.*, 2022).

Um estudo sobre telhas feitas de polipropileno PP reciclado mostrou que esse material oferece excelente resistência mecânica, com valores de resistência à tração de até 36,2 N/mm² quando combinado com copolímero de PP e acrilonitrila butadieno estireno ABS. Essas telhas demonstraram ser uma alternativa leve e resistente para a construção, ajudando a resolver o problema de aterros plásticos, além de ter boa resistência a impactos e propriedades estéticas adequadas para uso comercial (SIDDIQUEE *et al.*, 2019).

Um outro estudo conduzido em Ruanda testou a mistura de PEAD reciclado com areia para criar pavimentos. A resistência à compressão desses blocos foi avaliada em diferentes proporções de PEAD e areia, com valores variando de 17,79 N/mm² a 26,15 N/mm² antes da exposição ao calor. O estudo concluiu que essa mistura é uma solução eficaz para a construção de pavimentos duráveis e ambientalmente sustentáveis, além de reduzir os resíduos plásticos (INGABIRE *et al.*, 2018).

O reaproveitamento de embalagens Tetra Pak para a fabricação de telhas recicladas também foi testado quanto à sua eficiência térmica por SILVA *et al.*, (2015).

Os autores apontaram que essas telhas recicladas apresentaram níveis de conforto térmico semelhantes aos de materiais convencionais, como telhas cerâmicas e de fibrocimento. Além disso, o uso das embalagens como forro reduziu a transferência de calor para o interior das edificações, mostrando que as telhas à base de Tetra Pak podem ser uma solução eficaz para melhorar o conforto térmico em instalações rurais (SILVA *et al.*, 2015).

4.2. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS TELHAS DE PLÁSTICO PEAD RECICLADO

O aprimoramento no processo de produção de telhas de PEAD reciclado proporcionou um produto de maior qualidade, tanto em termos de resistência mecânica quanto de estética, ao mesmo tempo em que promoveu práticas sustentáveis, como a reutilização de água e a redução de resíduos plásticos. A otimização das etapas, desde a coleta e triagem do material até o processo de especificação e moldagem, testado em um protótipo viável e com potencial para atender às exigências do mercado de construção civil. Os testes realizados pela Falcão Bauer trazem indícios que as telhas de PEAD recicladas apresentam propriedades físicas e mecânicas adequadas para uso em coberturas. A resistência à flexão está dentro das configurações esperadas para telhas de fibrocimento sem amianto, e a baixa absorção de água demonstra que as telhas têm potencial para uso em áreas externas, onde estão expostas à chuva e umidade. Além disso, a impermeabilidade das telhas foi comprovada, o que é essencial para a proteção contra infiltrações. O relatório de ensaio destaca a eficiência dessas telhas como uma alternativa sustentável às telhas tradicionais, especialmente em termos de durabilidade e resistência. Com esses resultados, o aperfeiçoamento do processo de produção das telhas de PEAD reciclado mostrou-se promissor, oferecendo uma solução ecologicamente correta e economicamente viável para o setor da construção civil.

Quadro 1. Características Geométricas dos corpos de prova

CORPOS DE PROVA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)
01	345,0	197,9
02	343,0	196,9
03	345,0	198,2
04	346,0	197,2
05	344,0	197,4
06	345,0	196,7
07	346,0	196,9
08	342,0	198,1
09	346,0	196,6
10	344,0	196,5
MÉDIA	344,6	197,2
DESVIO PADRÃO	1,28	0,60

Fonte – Falcão Bouer 2024

Quadro 2. Espessura dos corpos de prova

CORPOS DE PROVA	ESPESSURA ENCONTRADA
01	5,93
02	5,64
03	4,04
04	4,80
05	4,71
06	4,68
07	4,60
08	4,08
09	4,18
10	4,86
MÉDIA	4,75
DESVIO PADRÃO	0,59

Fonte – Falcão Bouer 2024

Quadro 3. Resultados da Determinação da Permeabilidade

CP n.º	OCORRÊNCIAS
01	Nenhuma ocorrência de manchamento ou transpasse de água
02	Nenhuma ocorrência de manchamento ou transpasse de água
03	Nenhuma ocorrência de manchamento ou transpasse de água

Fonte – Falcão Bouer 2024



Figura 9. Corpo de prova submerso em água, isolado em recipiente impermeável para determinar a permeabilidade.

Quadro 4. Resultados Determinação da Massa e Absorção de Água

CP n.º	MASSA SATURADA (g)	MASSA SECA (g)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
01	24,4	24,1	1,24
02	22,5	22,3	0,90
03	22,3	22,1	0,90
04	22,3	22,1	0,90

Fonte – Falcão Bouer 2024

Quadro 5. Resultados da Verificação da Carga de Ruptura a Flexão

ENSAIO EM ESTADO AMBIENTE					
CORPOS DE PROVA	Espessura (mm)	Largura (mm)	Vão livre (mm)	Carga de Ruptura à Flexão (N)	Carga de Ruptura a Flexão Ambiente (N/m)
01	5	200	180	4880	2440
02				5750	2875
03				5690	2845
04				5450	2725
05				4980	2490
MÉDIA				5350	2675
DESVIO PADRÃO				358	179

Fonte – Falcão Bouer 2024

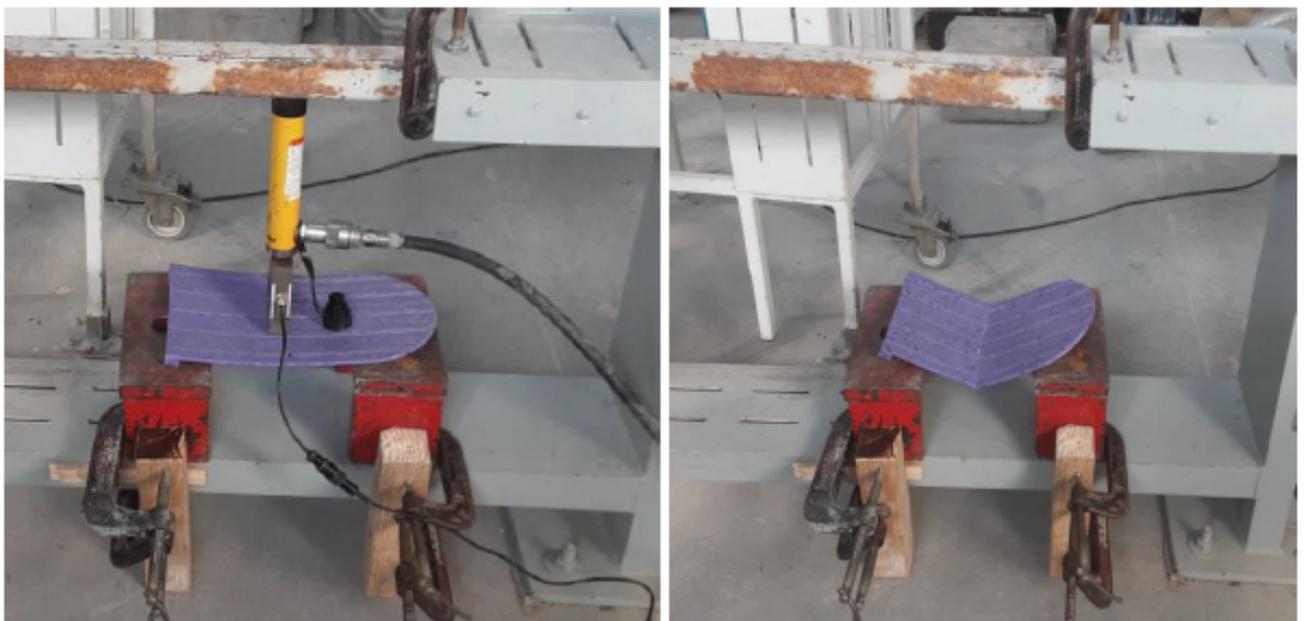


Figura 10. Corpo de prova sendo pressionado por pistão em teste de flexão até romper (Esquerda) e corpo de prova rompido (Direita).

4.3. COMPARAÇÃO COM TELHAS CONVENCIONAIS

Comparando o desempenho de telhas convencionais de fibrocimento com telhas ecológicas por exemplo feitas a partir de embalagens Tetrapak recicladas. As telhas ecológicas apresentaram resistência à tração significativamente superior (14,4 MPa) em relação às telhas de fibrocimento (5,2 MPa). Além disso, as telhas recicladas mostraram-se mais leves e com menor absorção de água, tornando-se uma opção viável para substituição das telhas convencionais, especialmente em regiões úmidas (ARAÚJO *et al.*, 2008)

Além disso resultados mostraram que as telhas recicladas com Tetra Pak apresentaram desempenho térmico equivalente às telhas cerâmicas, contribuindo para a redução da carga térmica nas edificações. Tornando uma alternativa sustentável e eficiente em termos de custo-benefício (SILVA *et al.*, 2015)

A norma ABNT NBR 152010-1:2005 - Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Parte 1 – Classificação e requisitos. Específica no item 5.4.2 Classificação segundo a carga mínima de ruptura a flexão. Que por metro de largura da telha de acordo com a categoria e classe a carga mínima de ruptura a flexão N/m para mínima ondulação seja de 1400 N/m já na norma ABNT NBR 15310:2005 - Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, no item 5.5 Carga de ruptura e flexão, indicam que as cargas de ruptura a flexão não devem ser inferiores as indicadas na tabela da norma, onde apontam os tipos de telhas e cargas mínimas de ruptura em N(kgf). Onde indica que a carga mínima para telhas planas de sobreposição como telhas alemãs e outras, deve ser de no mínimo 1000 (100) N(kgf). No caso da telha de PEAD reciclado todos os valores estiveram acima dos mínimos permitidos pela norma, segundo mostra o quadro 5.

4.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS

As telhas ecológicas como a de Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado apresentam diversas vantagens em relação às telhas convencionais, especialmente no contexto do desenvolvimento sustentável. Oferecem melhor desempenho térmico, elevada resistência à flexão e impacto, além de reduzirem significativamente a absorção de água. Tais características contribuem para um maior conforto térmico e segurança contra intempéries, ao mesmo tempo em que promovem a economia

circular e a reutilização de resíduos sólidos. Além disso, por serem mais leves, elas demandam estruturas de suporte menos robustas, o que pode resultar em redução de custos de construção

Contudo, as telhas de PEAD reciclado também possuem algumas desvantagens. Entre os principais desafios estão a possibilidade da necessidade de mão de obra especializada para instalação, além de possíveis problemas relacionados à desenvolvimento de fungos e mofo, que podem levar ao aparecimento de fissuras e alterações na coloração. Outro ponto a ser considerado é o longo tempo de decomposição do material em caso de descarte inadequado, o que, embora menor que o impacto de telhas convencionais de amianto, ainda representa um problema ambiental (BOFF et al., 2022).

Passaremos a seguir a apresentar os resultados da pesquisa efetuada iniciando pelo perfil do respondentes e na sequência apresentando as perguntas conceituais aplicadas no questionário, onde apontaram que a maioria dos participantes se identifica como feminino 54,9%, seguido por masculino 45,1%, sem respostas em outras categorias (figura 11), estado de Residência 95,1% dos respondentes estão concentrados em São Paulo, com uma distribuição mínima entre outros estados (figura 12), O nível de escolaridade predominante é o Ensino Superior Incompleto 45,1%, seguido pelo Superior Completo 20,4% (figura 13), as maiores faixas de renda estão entre R\$3.000,00 e R\$4.000,00 24,6% e R\$5.000,00 e R\$8.000,00 23,9% (figura 14), somente 28,2% estão familiarizados com o tema, enquanto 35,9% nunca ouviram falar sobre telhas de PEAD reciclado (figura 15), 78,9% acreditam que é uma solução muito viável, enquanto 17,6% consideram parcialmente viável (figura 16), quase metade 49,3% utilizariam após validação técnica, enquanto 29,6% utilizariam definitivamente (figura 17), a vida útil (73,9%) e a manutenção necessária 71,8% são os aspectos mais buscados antes de considerar seu uso (figura 18), o preço é um fator muito importante para 43,7% e parcialmente importante para 47,2% (figura 19), a principal vantagem identificada é o menor impacto ambiental 84,5%, seguida pela redução no consumo de recursos naturais 60,6%. (figura 20), o gráfico destaca que o desconhecimento sobre o desempenho (47,9%) e dúvidas sobre resistência e durabilidade (44,4%) (figura 21), 55,6% acreditam na viabilidade condicional à comprovação de eficiência, enquanto 33,1% consideram a solução viável sem restrições (figura 22), 47,2% não conhecem outras aplicações além das telhas, e 43% ouviram falar, mas sem detalhes (figura 23), a

redução do impacto ambiental é o principal benefício apontado (85,2%), seguido pela economia de recursos naturais (67,6%) (figura 24), as maiores preocupações são o desconhecimento sobre o desempenho (53,5%) e a resistência e durabilidade questionáveis (43%) (figura 24).

- Gênero:

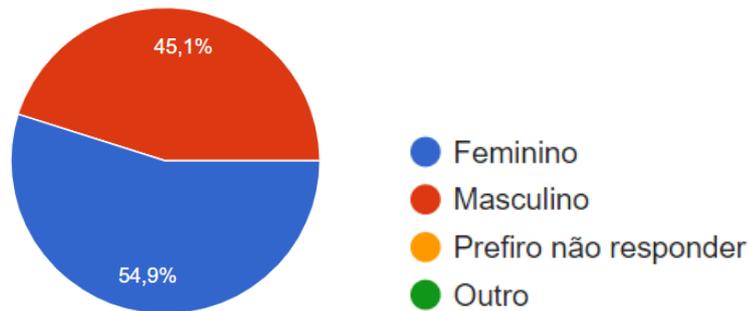


Figura 11. Distribuição dos participantes por gênero, conforme as categorias apresentadas.

- Estado:

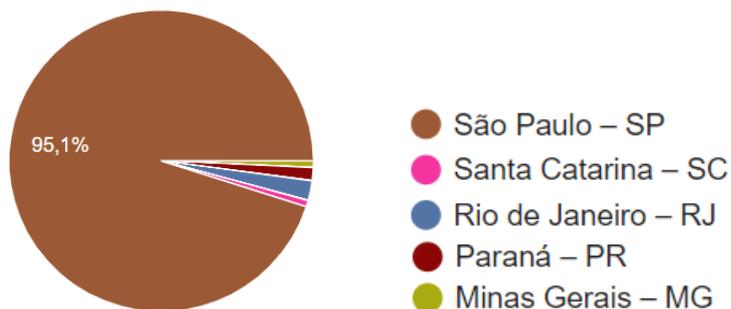


Figura 12. Distribuição dos participantes por estado de residência.

- Escolaridade:

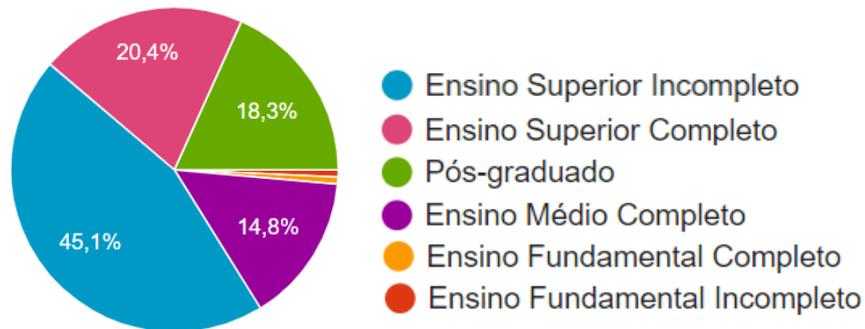


Figura 13. Distribuição dos participantes por nível de escolaridade.

- Renda:

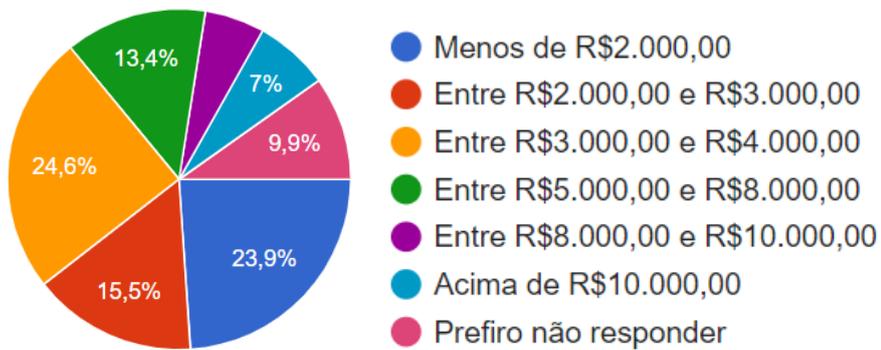


Figura 14. Distribuição dos participantes por renda.

- Familiaridade com Telhas de PEAD Reciclado:

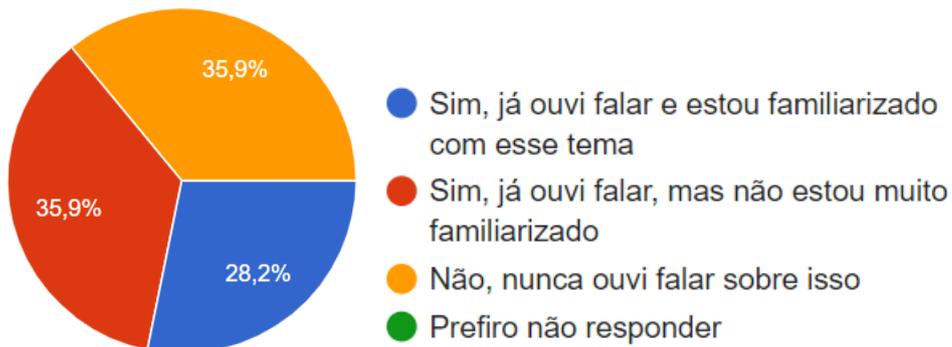


Figura 15. Distribuição dos participantes por familiaridade com o produto.

- Viabilidade do Uso de Telhas de PEAD para Reduzir Poluição Plástica:

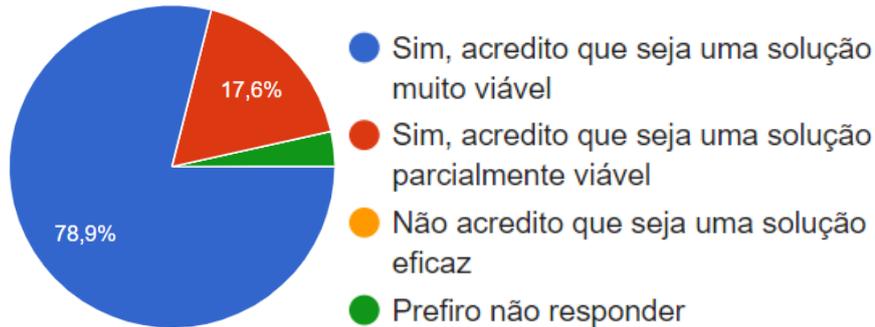


Figura 16. Distribuição dos participantes por viabilidade das telhas.

- Intenção de Uso de Telhas de PEAD em Residências:



Figura 17. Distribuição dos participantes por intenção de uso.

- Informações Adicionais Desejadas sobre Telhas de PEAD:

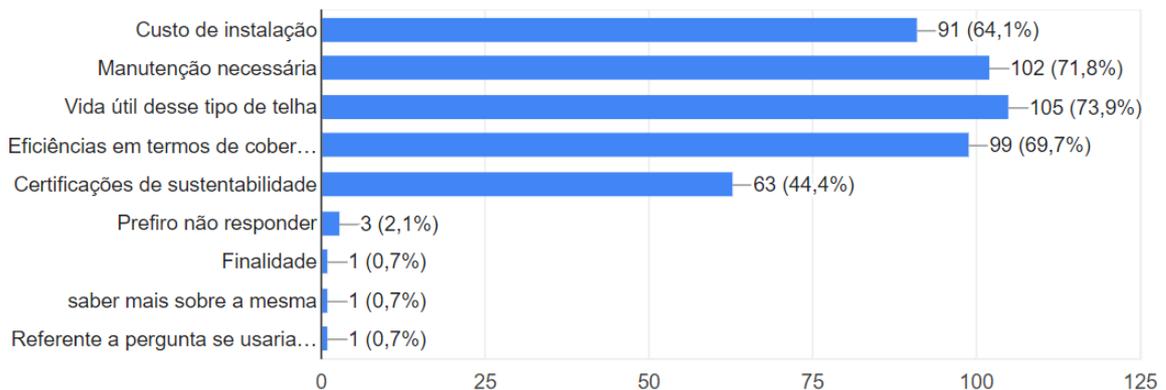


Figura 18. Distribuição dos participantes por informações adicionais desejadas sobre a telha.

- **Influência do Preço na Decisão de Uso:**

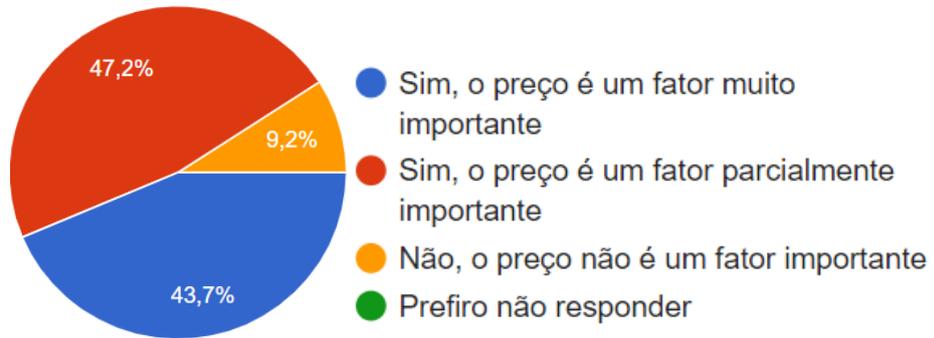


Figura 19. Distribuição dos participantes por influência do preço.

- **Benefícios Percebidos das Telhas de PEAD:**

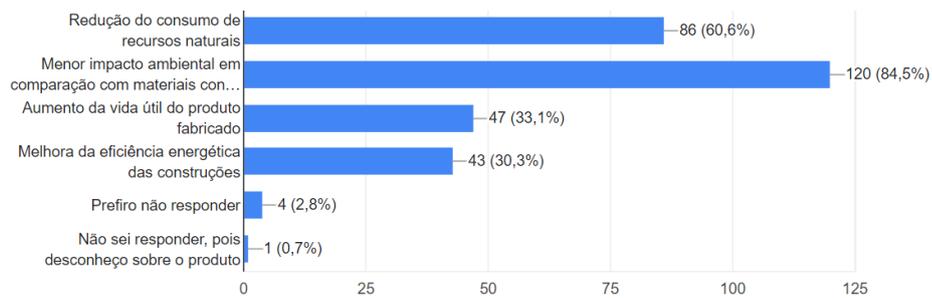


Figura 20. Distribuição dos participantes por benefícios percebidos.

- **Preocupações com o Uso de Telhas de PEAD Reciclado:**

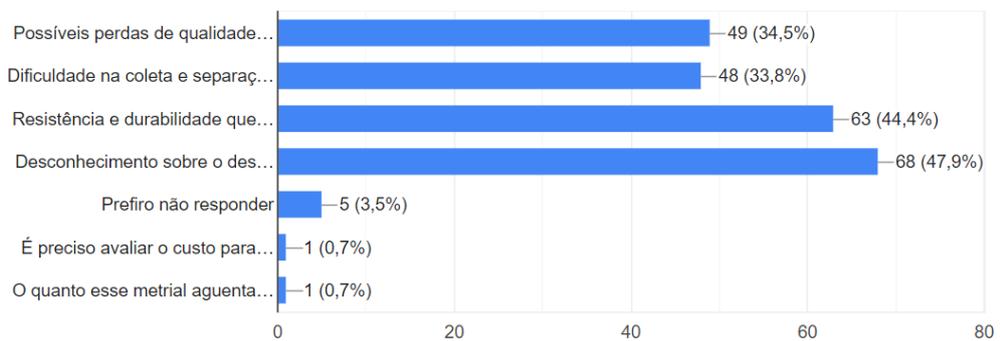


Figura 21. Distribuição dos participantes por preocupação com o uso das telhas.

- Viabilidade em Construções de Grande Escala:

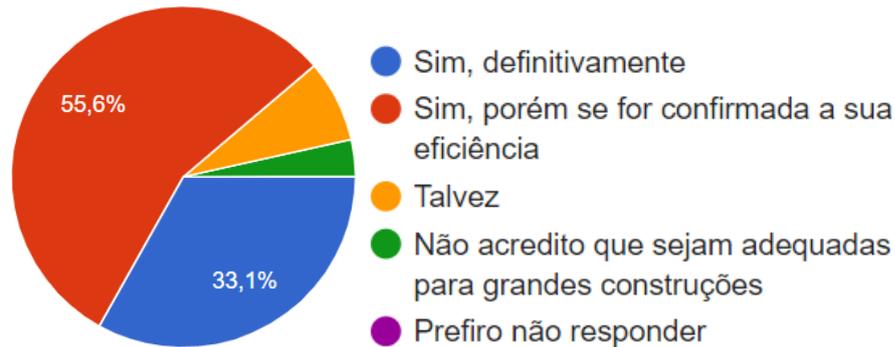


Figura 22. Distribuição dos participantes por viabilidade em construção de grande escala.

- Conhecimento sobre Outras Aplicações de Plástico Reciclado

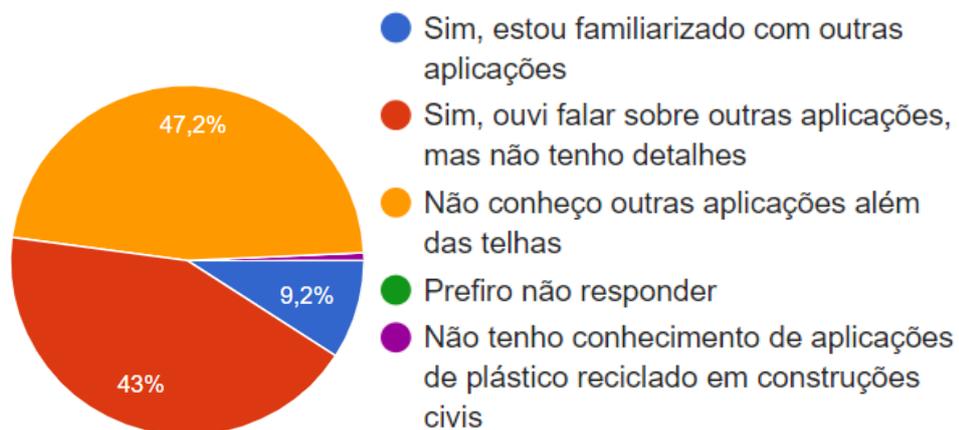


Figura 23. Distribuição dos participantes por conhecimento sobre outras aplicações de plástico reciclado.

- Benefícios do Uso de Plástico Reciclado na Construção

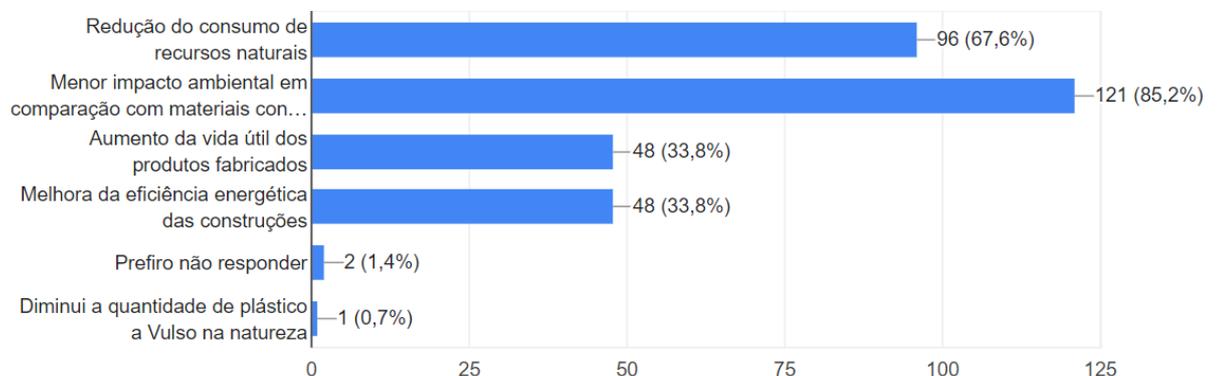


Figura 24. Distribuição dos participantes por benefícios do uso de plástico reciclado na construção.

- Preocupações com o Uso de Plástico Reciclado na Construção

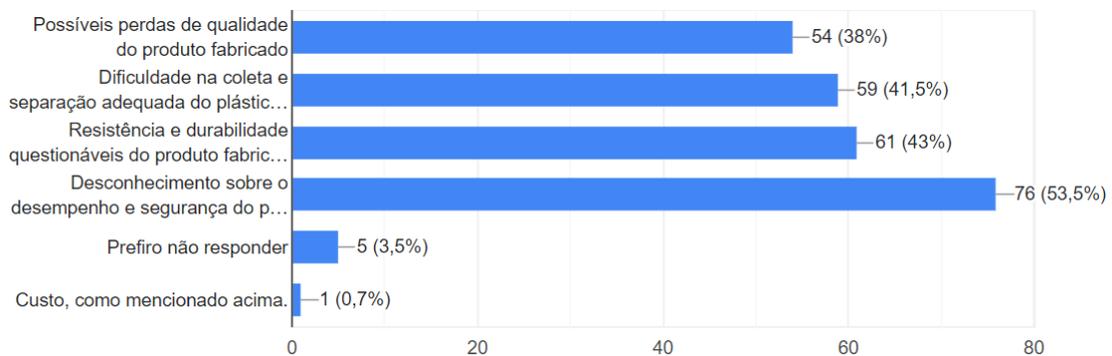


Figura 25. Distribuição dos participantes por uso de plástico reciclado na construção.

A pesquisa revelou importantes percepções e preocupações relacionadas ao uso de telhas de PEAD reciclado e outras aplicações de plástico reciclado na construção civil. Observou-se que, embora 100% dos participantes tenham aceitado participar do estudo, o conhecimento sobre telhas de PEAD reciclado ainda é limitado, com apenas 28,2% familiarizados com o tema. A maioria (78,9%) acredita que essas telhas são uma solução viável para a redução da poluição plástica, mas destaca a necessidade de validação técnica antes de utilizá-las em suas residências (49,3%). Os principais benefícios percebidos incluem menor impacto ambiental (84,5%) e redução no consumo de recursos naturais (60,6%). Entretanto, as principais preocupações incluem o desconhecimento sobre o desempenho do produto (47,9%) e dúvidas sobre sua resistência e durabilidade (44,4%). Em termos de viabilidade para construções em grande escala, (55,6%) acreditam que as telhas podem ser aplicadas, desde que comprovada sua eficiência. Além disso, muitos participantes manifestaram interesse em informações adicionais, como vida útil, manutenção e certificações de sustentabilidade. No entanto, uma parcela desconhece outras aplicações de plástico reciclado na construção civil (47,2%). Esses dados refletem um cenário promissor, mas também indicam a necessidade de maior disseminação de informações e comprovação técnica para aumentar a confiança do público e ampliar o uso de materiais reciclados na construção civil.

4.5. CUSTOS DE PRODUÇÃO

A integração da ecoeficiência e a Responsabilidade Social Corporativa (RSC) representa uma abordagem estratégica para empresas que desejam alinhar crescimento econômico com sustentabilidade ambiental e social. A ecoeficiência propõe a otimização dos processos produtivos, utilizando menos recursos e gerando menos resíduos, o que resulta em uma operação mais econômica e menos impactante ao meio ambiente. Por outro lado, a RSC reforça o papel social das empresas, promovendo ações que beneficiam a comunidade e fortalecem relações com stakeholders. Juntas, essas práticas não só reduzem custos e riscos, mas também asseguram a perenidade e a relevância das organizações em um mercado cada vez mais orientado por valores éticos e sustentáveis (ALMEIDA, 2002). Para analisar os custos de produção das telhas de Polietileno de Alta Densidade PEAD recicladas, consideramos que cada telha pesa em média 300 gramas e é fabricada a partir de tampinhas de plástico PEAD, que pesam aproximadamente 1 grama cada. A matéria-prima necessária para produzir um quilo de tampinhas na região da Baixada Santista, em São Paulo, custa em média R\$ 2,00/kg. Portanto o cálculo do custo por unidade de telha é:

O custo da matéria-prima para cada telha, com 300 gramas, requer 0,30 kg de PEAD ao custo de R\$ 2,00 por quilo temos: $\text{Custo de PEAD por telha} = 0,30 \text{ kg} \times \text{R\$ } 2,00 = \text{R\$ } 0,60$

Já o custo energético para cada telha que é produzida com um triturador e um forno elétrico com um tempo de produção de aproximadamente 2 horas no total, é necessário calcular o consumo de energia médio do triturador, forno e o custo da energia elétrica. O triturador de 1000W consome 0,5kWh em meia hora e o forno consome 2,25 kWh em uma hora e meia e o custo da energia elétrica é em média R\$ 0,95/kWh, o custo de energia para produzir uma telha é de: $\text{Custo energia por telha} = 0,5\text{kWh} \times 2,25 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,095 = \text{R\$ } 2,61$

Então o custo total de produção por telha somando os custos de matéria-prima e energia, o custo total de produção por telha = R\$ 0,60 (matéria-prima) + R\$ 2,61 (energia) = R\$ 3,21

Com uma produção diária e capacidade de produção, com apenas um forno e um molde, é possível produzir até 6 telhas em um dia de trabalho (aproximadamente 9 horas). $\text{Custo total diário (produção de 6 telhas)} = 6 \times \text{R\$ } 3,21 = \text{R\$ } 19,26$

O custo de produção de uma telha de PEAD reciclada é de R\$ 3,21, com um preço de venda de R\$ 4,17, considerando uma margem de lucro de 30%. Com a capacidade de produção de até 6 telhas por dia utilizando um forno e um molde, a receita diária esperada é de R\$ 25,00, resultando em um lucro diário de R\$ 5,78. Telhas são vendidas por m², neste caso que o valor de mercado sairia em média de R\$ 80,00/m². O preço das telhas convencionais pode variar entre R\$ 20,00 e R\$ 150,00/m², é preciso também considerar o valor da mão de obra, da estrutura e do tipo de acabamento, como cimento e tinta para algumas telhas. Essa análise de custos e definição de preço fornece uma base para avaliar a viabilidade econômica do projeto e o potencial de mercado destas telhas.

A montagem das telhas é sobreposta e parafusada como escamas de peixe com as seguintes características, 20 telhas por m², peso unitário de em média 300g, com inclinação mínima de 40%. Segundo as normas NBR15210 e 15310 não deve haver caminhamento direto sobre as telhas, ou seja, deve se caminhar sobre a parte da telha apoiada na estrutura.



Figura 26. Foto da telha vista de cima, apontada para o lado direito.



Figura 27. Foto da telha vista de baixo, apontada para o lado direito.



Figura 28. Foto da telha vista de lado, apontada para o lado esquerdo.



Figura 29. Foto do modo de instalação das telhas na estrutura, em forma de escamas de peixe.

Tal viabilidade não apenas comprova sua eficácia funcional e ambiental, mas também se consolidou dando início a um plano de negócio real com nome de PARADAS. Um projeto que demonstra que é possível transformar resíduos plásticos em produtos de alto valor agregado, como telhas resistentes e duráveis, capazes de competir com alternativas tradicionais. Além disso, um modelo de negócio sustentado por essa iniciativa em modelo de extensão acadêmica que promove além de tudo educação ambiental e economia circular e gerando benefícios ambientais, econômicos e sociais. (Figura 26 A 28)



Figura 30. Logotipo do plano de negócio gerado a partir dos dados de viabilidade gerados por este estudo.

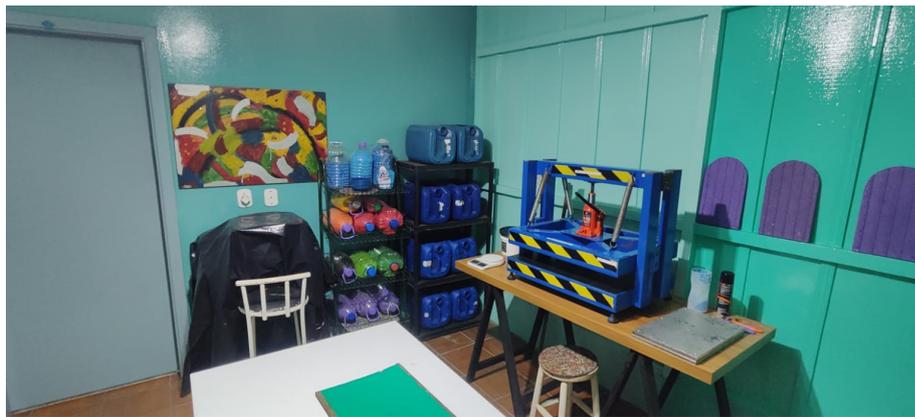


Figura 31. Oficina criativa para confecção de telhas e outros objetos de plástico reciclado.



Figura 32. Oficina criativa para confecção de telhas e outros objetos de plástico reciclado.



Figura 33. Palestra de educação ambiental e Exposição em grandes eventos dos objetos de plástico reciclado.

4.6. ANALISE SWOT (*STRENGTHS, WEAKNESSES, OPPORTUNITIES AND THREATS*)

- **Forças (*Strengths*)**

Sustentabilidade: O projeto utiliza plástico reciclado PEAD, o que reduz o impacto ambiental, promovendo a reciclagem e a economia circular. Custo de matéria-prima reduzido: O uso de plástico reciclado, um material amplamente disponível e de baixo custo, contribui para uma solução econômica.

Durabilidade do Produto: As telhas de PEAD recicladas oferecem excelente resistência mecânica, resistência à água e à radiação UV, além de serem leves.

Inovação no Setor de Construção: O projeto apresenta uma solução inovadora em um setor tradicionalmente dependente de materiais não sustentáveis, como cerâmica e concreto.

Redução de Resíduos Plásticos: Contribui para a redução significativa de resíduos plásticos, transformando o lixo em um produto significativo.

Processo de Produção Otimizado: O uso de processos eficientes, como triagem e prensagem com equipamentos modernos, aumenta a qualidade do produto final e reduz o desperdício.

- **Fraquezas** (*Weaknesses*)

Custo Inicial Elevado para Equipamentos: O investimento inicial em máquinas, como prensas hidráulicas, moldes de alumínio e fornos, pode ser elevado.

Necessidade de Infraestrutura Adequada: A produção depende de uma infraestrutura adequada para processamento e reciclagem de materiais, o que pode exigir custos operacionais elevados.

Desafios Técnicos no Processamento de PEAD: O processamento de plásticos reciclados pode enfrentar desafios técnicos, como controle de qualidade e uniformidade do material.

Aceitação Limitada do Mercado: Produtos reciclados podem enfrentar resistência em alguns segmentos do mercado, especialmente em áreas onde os consumidores ainda conhecem materiais convencionais.

Escalabilidade: A produção em larga escala pode ser um desafio se a oferta de PEAD reciclado não acompanhar a demanda.

- **Oportunidades** (*Opportunities*)

Crescimento da Demanda por Materiais Sustentáveis: Com a crescente conscientização ambiental e políticas públicas focadas na sustentabilidade, a demanda por materiais de construção ecológicos está em ascensão.

Incentivos Governamentais: O projeto pode se beneficiar de incentivos fiscais e programas de apoio governamental para projetos que promovam a reciclagem e a sustentabilidade.

Expansão para Outros Produtos: Além de telhas, o PEAD reciclado pode ser utilizado na produção de outros produtos de construção, como revestimentos, tijolos e pavimentos.

Aumento da Conscientização Ambiental: O aumento da conscientização sobre os danos causados pelos plásticos ao meio ambiente pode gerar uma maior facilidade de produtos reciclados por parte dos consumidores e construtores.

Parcerias Estratégicas: A possibilidade de formar parcerias com empresas de reciclagem e construção sustentável pode ampliar o escopo do projeto.

- **Ameaças (Threats)**

Concorrência de Materiais Convencionais: Materiais tradicionais, como telhas cerâmicas e de fibrocimento, já são amplamente aceitos e podem representar uma barreira para a adoção de telhas de PEAD reciclado.

Flutuações no Mercado de Matéria Prima: Embora o PEAD reciclado seja uma matéria prima de baixo custo, a disponibilidade de plástico reciclado pode ser afetada por variações no mercado de reciclagem.

Regulamentações Ambientais: Embora existam incentivos para produtos reciclados, novas regulamentações aumentam os custos operacionais, especialmente em termos de descarte de resíduos e emissões.

Percepção Pública Negativa: Em algumas regiões, pode haver preconceito contra produtos reciclados, especialmente se houver dúvidas sobre a qualidade ou segurança em comparação com os produtos convencionais.

Custos de Transporte e Logística: Dependendo da localização da planta de reciclagem e produção, os custos de transporte podem ser significativos, impactando as previsões econômicas.

A análise SWOT é uma ferramenta estratégica que oferece diversos benefícios para empresas, projetos e indivíduos, ajudando na tomada de decisões fundamentadas (LEITE; GASPAROTTO, 2018). É especialmente eficaz quando usada como ponto de partida para o planejamento estratégico, proporcionando uma visão abrangente do cenário atual e ajudando a construir um caminho claro e objetivo como demonstra a figura 34.



Figura 34. Ilustração da análise de SWOT, com cada um dos itens citados anteriormente.

4.6. POSSÍVEIS APLICAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

- Desenvolver uma análise completa do ciclo de vida das telhas de PEAD reciclado, comparando os impactos ambientais com os materiais de construção tradicionais.
- Explorar novos métodos de fabricação e moldagem para aumentar a eficiência de produção e reduzir o consumo de energia durante o processo de fabricação das telhas.
- Pesquisar o uso de PEAD reciclado em outros componentes de construção, como revestimentos, tijolos e pavimentos, aproveitando os mesmos princípios de sustentabilidade.
- Avaliar o comportamento térmico e acústico das telhas de PEAD em diferentes climas, investigando o impacto no conforto dos usuários e no consumo energético de edificações.
- Explorar as previsões econômicas de expandir a produção de telhas de PEAD recicladas em escala industrial, considerando os custos de matéria-prima, produção, transporte e distribuição.
- Investigar o impacto social do uso de materiais reciclados na construção civil, incluindo a geração de empregos e a conscientização ambiental na sociedade.

5. CONCLUSÕES

A produção de telhas de Polietileno de Alta Densidade PEAD reciclado apresentou resultados promissores em diversas frentes. Primeiramente, o processo de fabricação foi aprimorado para garantir maior eficiência e qualidade, com a implementação de técnicas avançadas de reciclagem, triagem, moldagem e atualizações. O uso de plástico reciclado declarado é viável tanto técnica quanto economicamente, com destaque para a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental.

As telhas produzidas a partir de PEAD reciclado tiveram excelente resistência mecânica, incluindo alta durabilidade e resistência à flexão, além de baixa absorção de água, o que as torna adequadas para uso em diferentes condições climáticas. Esses resultados indicam que o produto é competitivo em comparação com telhas convencionais, como cerâmica e fibrocimento, atendendo às normas de qualidade utilizadas para materiais de construção.

Além disso, a análise da percepção da população, mostrou uma demanda crescente por materiais sustentáveis, ou que amplia as oportunidades de comercialização das telhas de PEAD recicladas. No entanto, o projeto ainda enfrenta desafios relacionados à acessibilidade do consumidor e à escalabilidade da produção. Apesar disso, os resultados indicam que o uso de PEAD reciclado é uma alternativa viável para a construção civil, proporcionando benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Em resumo, o presente estudo conclui que as telhas de PEAD recicladas têm grande potencial, com possibilidade de contribuir para a economia circular e a redução da poluição plástica, ao mesmo tempo em que oferece um produto durável e de alta qualidade para a construção civil e sociedade.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Fernando. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- ARAÚJO, D.; MORAIS, M.; ALTIDES, M. **Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares**. Acesso em: 16 nov. 2024.
- BARNABÉ, J. M. C. et al. **Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 5, p. 481–488, 2015.
- BOFF, E. X **Encontro de Sustentabilidade em Projeto**. Marabá: UNIFESSPA, 24 a 26 de agosto de 2022.
- CARNEIRO, T. A. et al. **Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 11, p. 1086–1092, 2015.
- COREÑO-ALONSO, J.; MÉNDEZ-BAUTISTA, M. T. **Relación estructura-propiedades de polímeros**. Educación Química, v. 21, n. 4, p. 291–299, 2010.
- COSTA, H. M. da et al. **Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD)**. Polímeros, v. 26, n. spe, p. 75–81, 2016.
- FERREIRA, R. L. R.; SANTANA, R. M. C. **Estudo comparativo da influência da razão de sopro nas propriedades de filmes tubulares de PEBD e PEAD**. Polímeros, v. 25, n. 1, p. 83–93, 2015.
- FIORELLI, J. et al. **Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 5, p. 986–992, 2010.
- GUNESEGERAN, K. et al. **High-density polyethylene (HDPE) tiles**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF MATHEMATICS AND MATHEMATICS EDUCATION (I-CMME), 2021. Anais [...]. AIP Publishing, 2022.
- LEITE, Maykon Stanley Ribeiro; GASPAROTTO, Angelita Moutin Segoria. **ANÁLISE SWOT E SUAS FUNCIONALIDADES: o autoconhecimento da empresa e sua importância**. Revista interface tecnológica, v. 15, n. 2, p. 184-195, 2018.
- LIGOWSKI, E.; SANTOS, B. C. dos; FUJIWARA, S. T. **Materiais compósitos à base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão**. Polímeros, v. 25, n. 1, p. 70–75, 2015.

PEREIRA, T. M. C. et al. **Efeito dos solventes orgânicos sobre o comportamento físico-químico do polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP).** *Polímeros*, v. 24, n. 3, p. 300–306, 2014.

RANGEL, A. M. et al. **Os ‘3Rs’ aplicados ao plástico: uma revisão sobre a redução.** [S.l.: s.n.].

Recycling High-Density Polyethylene (HDPE) into construction materials as a key step in plastic waste reduction: case of Kigali City. [S.l.: s.n.].

REIS, C. C. V. **Recycled HDPE (high density polyethylene) plastic tile: an initial prototype.** *Journal of Engineering Research*, v. 4, n. 17, p. 2–16, 2024.

SAMPAIO, C. A. de P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. de. **Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico.** *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 230–236, 2011.

SIDDIQUEE, A. N. et al. **Recycled polypropylene tiles: from waste to wealth.** *International Journal of Advanced Production and Industrial Engineering*, v. 4, n. 1, p. 16–18, 2019.

SILVA, K. C. P. da et al. **Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak® em coberturas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 58–63, 2015.

TAVARES SIQUEIRA, A. **Avaliação microestrutural e das propriedades mecânicas do polietileno de alta densidade.** *Cadernos UniFOA*, [s.l.], p. 16–2024, [s.d.].

TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. **Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção.** *Cerâmica*, v. 61, n. 358, p. 190–198, 2015.