



Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Naturais da Amazônia

O USO DE POLÍMEROS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA PROPOSTA DE HABITAÇÃO SUSTENTÁVEL.

TAIZA NAIANA DA SILVA FERREIRA

BELÉM, PA-BRASIL
FEVEREIRO DE 2023



O USO DE POLÍMEROS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA PROPOSTA DE HABITAÇÃO SUSTENTÁVEL.

TAIZA NAIANA DA SILVA FERREIRA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientadora: Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

BELÉM, PA-BRASIL
FEVEREIRO DE 2023

“O USO DE POLÍMEROS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA PROPOSTA DE HABITAÇÃO SUSTENTÁVEL”

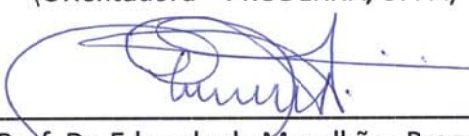
Taiza Naiana da Silva Ferreira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA - PRODERNA/ITEC/UFPA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

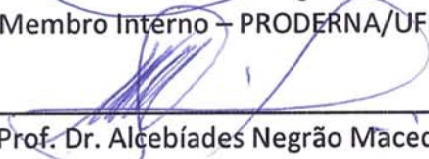
Aprovada por:



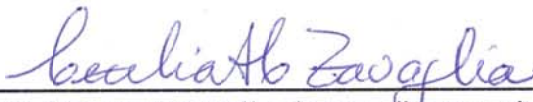
Profª. Dra. Carmem Gilda Barroso Tavares Dias
(Orientadora – PRODERNA/UFPA)



Prof. Dr. Eduardo de Magalhães Braga
(Membro Interno – PRODERNA/UFPA)



Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo
(Membro Externo ao Programa – PPGEC/ITEC/UFPA);



Profª. Dra. Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia
(Membro Externo à Instituição – UNICAMP-SP)

Belém, PA - Brasil
Fevereiro de 2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Biblioteca do Instituto de Tecnologia / UFPA – Belém-PA**

F383u Ferreira, Taiza Naiana da Silva

O Uso de polímeros reciclados na construção civil: uma proposta de habitação sustentável/ Taiza Naiana da Silva Ferreira. — 2023.

Orientadora: Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais na Amazônia, Belém, 2023.

1. Construção civil sustentável 2. Plásticos-Reaproveitamento 3. Termoplásticos 4. Reaproveitamento (sobras, refugos, etc.) I. Título.

CDD 23. ed. – 690

Elaborado por Maria Ivone Maia da Costa – CRB-2/768

Dedico este trabalho ao meus pais, Arlindo e Jurema, à minha irmã Taiana, às minhas sobrinhas Laura e Heloísa que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o maior Engenheiro do universo, pela saúde e por guiar meus passos durante esta caminhada, permitindo a concretização deste trabalho.

Aos meus pais, Jurema Ferreira e Arlindo Ferreira, por serem meus maiores exemplos de humildade, trabalho e honestidade. Por não medirem esforços para me oferecer uma educação de qualidade. Muito obrigado pela base familiar, pelos valores ensinados e por sempre me guiarem para o caminho do bem e dos estudos.

À minha irmã, Taiana Ferreira, por me ensinar o real valor da irmandade e companheirismo. Muito obrigado pelo exemplo, apoio e incentivo.

À minha orientadora e amiga, Professora Dr^a. Carmem Gilda Dias, pela confiança, incentivo e por sempre ter acreditado em mim. Seus ensinamentos foram muito além do ambiente acadêmico, sendo inestimáveis para minha formação pessoal. É um privilégio ser sua aluna e tê-la como exemplo e inspiração. Minha eterna gratidão, admiração e respeito.

Ao Professor Dr. Eduardo Braga, coordenador do PRODENA, pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis durante a finalização do doutorado. Certo de que palavras não serão capazes de descrever a imensa gratidão que sinto, guardarei comigo as lições de profissionalismo e dedicação.

Ao Professor Dr. Newton Sure Soeiro, antigo diretor do ITEC-UFPA pelo seu apoio e amizade, ao longo desses anos, foram fundamentais. Muito obrigado pelas experiências compartilhadas e pelo incentivo durante a minha trajetória acadêmica.

Ao Professor Hito Braga, atual diretor do ITEC-UFPA, pelo grande exemplo de profissional e pela parceria no âmbito do instituto e da Engenharia.

À Professora Dr^a. Andrielli Moraes, que me acompanha e incentiva desde quando éramos docentes do campus de Tucuruí até os dias de hoje. Obrigada pela sua amizade e parceria.

Ao Professor Dr. Claudio José Cavalcante Blanco, ex-coordenador do PRODERNA pelo incentivo e amizade desde o mestrado e agora no doutorado.

Ao Professor Dr. Alcebiádes Negrão Macêdo, que acompanha minha vida acadêmica, esteve em minha banca de mestrado e agora no doutorado. Obrigada pela amizade e parceria.

Aos colegas que ajudaram na fase de laboratório, Poliana Bringel, Gleisson Mendes, pelo companheirismo e pelos aprendizados.

A todos da Pró-Reitoria de Extensão, unidade a qual eu estou cedida e durante todo o período do doutorado, foi complacente com meus horários para que eu pudesse participar das atividades do curso da melhor maneira possível e por ampliar meus horizontes em relação à multidisciplinaridade na relação da Engenharia com todas as áreas de conhecimento e com a sociedade.

Ao Vice-Reitor Prof. Dr. Gilmar Pereira da Silva, pela amizade e dedicação na condução da UFPA juntamente com o Reitor Prof. Dr. Emannuel Tourinho, que com a visão de ótimos gestores que têm, me deram a oportunidade de estar na Pró-Reitoria de Extensão.

À Universidade Federal do Pará, por contribuir com a minha formação, não só profissional, mas também social e pessoal. É uma grande honra fazer parte desta estimada instituição que faz a diferença na Amazônia e no Brasil.

“In memoriam” À minha avó Maria Judith, ao meu tio Francisco Costa, minha tia Maria de Jesus e meu irmão amigo Daniel Santos, todos foram muito importantes em minha vida e não puderam estar presentes neste momento.

A todos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), equipe competente e disposta a ajudar em todos os momentos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes”

(Isaac Newton)

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutora em Engenharia de Recursos Naturais (Dr^a.Eng.)

O USO DE POLÍMEROS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA PROPOSTA DE HABITAÇÃO SUSTENTÁVEL.

TAIZA NAIANA DA SILVA FERREIRA

FEVEREIRO/2023

Orientadora: Prof. Dr^a. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

Área de Concentração: Uso e Transformação de Recursos Naturais

Nas últimas décadas, o desenvolvimento urbano trouxe como consequência a produção desequilibrada de materiais plásticos como resíduos, resíduos estes que podem ser reaproveitados como matéria-prima de um novo ciclo produtivo. Este trabalho apresenta uma proposta de habitação sustentável com a utilização de pisos, blocos para vedação com manta termo-acústica e telhas sustentáveis. Para o preparo destes, foram montados equipamentos de rotomoldagem e moldagem por compressão. Utilizaram-se resíduos de polímeros e de fibras naturais, para a confecção destes elementos construtivos. Os polímeros utilizados para o desenvolvimento de piso foram poliestireno (PS) de copos descartáveis; blocos ecológicos que foram modelados e processados a partir embalagens pós-consumo de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD). As telhas foram moldadas a partir de laminados descartados; os pisos se tornaram resistentes a abrasão pela presença de fibras de babaçu. Os blocos propiciaram conforto acústico pela inclusão de mantas de fibra de açaí. As paredes foram montadas por blocos e produto comercial para assentamento e sobreposição. Habitações como modelo de reciclagem de materiais descartados no meio ambiente serão capazes de gerar destinação adequada, proporcionando renda, aumento do ciclo de vida desses materiais, produzindo produto ecológico na construção civil e atendendo pelo menos, quatro dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável-ODS da Organização das Nações Unidas.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo, reciclagem mecânica, termoplásticos, bio construção.

Abstract of the Thesis presented to PRODERNA/UFPA as part of the necessary requirements to obtain the degree of Doctor in Natural Resources Engineering (Dr^a.Eng.)

THE USE OF RECYCLED POLYMERS IN CIVIL CONSTRUCTION: A SUSTAINABLE HOUSING PROPOSAL.

TAIZA NAIANA DA SILVA FERREIRA

FEBRUARY/2023

Advisor: Prof. Dr. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

Area of Concentration: Use and Transformation of Natural Resources

In recent decades, urban development has resulted in the unbalanced production of plastic materials as waste, waste that can be reused as raw material for a new production cycle. This work presents a proposal for sustainable housing with the use of floors, blocks for sealing with thermo acoustic blanket and sustainable tiles. For their preparation, rotational molding and compression molding equipment was assembled. Residues of polymers and natural fibers were used to make these constructive elements. The polymers used for the development of the floor were polystyrene (PS) disposable cups; ecological blocks were modeled and processed from post-consumer polypropylene (PP) and high-density polyethylene (HDPE) packaging; tiles were molded from discarded laminates; the floors became resistant to abrasion due to the presence of babassu fibers. The blocks provided acoustic comfort by including açai fiber blankets, the walls were assembled using blocks and a commercial product for laying and overlapping. Housing as a model for recycling materials discarded in the environment will be able to generate proper disposal, providing income, increasing the life cycle of these materials, producing ecological products in civil construction and meeting at least four of the Organization's Sustainable Development Goals-SDGs of the United Nations.

KEYWORDS: waste, mechanical recycling, thermoplastics, bio construction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - DIMENSÕES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	24
FIGURA 2.2- INDICADORES BRASILEIROS PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.	27
FIGURA 2.3 - SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM CADA REGIÃO DO BRASIL	28
FIGURA 2.4 - CICLO DE LOGÍSTICA REVERSA.....	29
FIGURA 2.5 - ATIVIDADES DO CICLO DE LOGÍSTICA REVERSA	32
FIGURA 2.6 - CATEGORIAS ABORDADAS PELA CERTIFICAÇÃO GBC BRASIL.....	45
FIGURA 2.7 - SIMBOLOGIA UTILIZADA PARA IDENTIFICAÇÃO DAS EMBALAGENS POLIMÉRICAS	47
FIGURA 2.8 - TIPOS DE POLÍMEROS	49
FIGURA 2.9- TERMOPLÁSTICOS MAIS ENCONTRADOS NO RESÍDUO SÓLIDO URBANO BRASILEIRO.	50
FIGURA 3.1- FLUXOGRAMA DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS DE UMA RESIDÊNCIA SUSTENTÁVEL.	64
FIGURA 3.2 – CICLO DE APROVEITAMENTO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS.....	65
FIGURA 3.3 - POLÍMEROS UTILIZADOS: (A,C) POLIPROPILENO (PP) E (B,D) POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (HDPE) APÓS CORTADO POR FACA.	66
FIGURA 3.4 - MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM A) MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM B) FORNO....	67
FIGURA 3.5- FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO REALIZADO.	70
FIGURA 3.6 ETAPAS BÁSICAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA.	72
FIGURA 3.7- BANHO TERMOSTÁTICO PARA AFERIÇÃO DE TERMOPARES.....	73
FIGURA 3.8 - QUEIMA HORIZONTAL HB 94	79
FIGURA 4.1 - APARÊNCIA DO BLOCO DE PP.....	81
FIGURA 4.2 - BLOCO DE PEAD COM REVESTIMENTOS E ELEMENTOS DE ENCAIXE.....	82
FIGURA 4.3 - BLOCO DE PP COM ELEMENTOS DE LIGAÇÃO.....	82
FIGURA 4.4- BLOCO COM INSTALAÇÃO ELÉTRICA E COM MANTA ACÚSTICA.	83
FIGURA 4.5 – MODELAGEM 3D DA MONTAGEM DE PAREDES COM BLOCOS SUSTENTÁVEIS .	84
FIGURA 4.6 MICROSCOPIA ÓPTICA DE PP	85
FIGURA 4.7 MICROSCOPIA ÓPTICA DE PEAD	86
FIGURA 4.8 – FRATURA DO BLOCO DE PP A) LADO ESQUERDO B) LADO DIREITO	88
FIGURA 4.9- BLOCO DE PEAD SOFRENDO DEFORMAÇÃO ELÁSTICA A) INÍCIO DO TESTE B) DEFORMAÇÃO LATERAL C) APÓS A REMOÇÃO DA CARGA D) BLOCO COM RECUPERAÇÃO DE	

100%.	88
FIGURA 4.10- CURVAS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO VERSUS DEFORMAÇÃO (DEFORMAÇÃO): (A) PP E PEAD NA TAXA DE DEFORMAÇÃO DE 2 MM MIN-1; (B) PP E HDPE NA TAXA DE DEFORMAÇÃO DE 5 MM MIN-1 (C) PP E HDPE NA TAXA DE DEFORMAÇÃO DE 10 MM MIN-1 E (D) PP E HDPE NAS DIVERSAS TAXAS DE DEFORMAÇÃO (DE 2 MM MIN-1 A 10 MM MIN-1)...	90
FIGURA 4.11- DIFFRACTOGRAMAS: A) MATERIAL PP PÓS-CONSUMO E ROTOMOLDADO E B) MATERIAL HDPE PÓS-CONSUMO E ROTOMOLDADO.	91
FIGURA 4.12 - (A) COPOS DE PS SELECIONADOS E (B) TRITURADOS.....	92
FIGURA 4.13 –DIFRATOGRAMA DE COPOS DE PS TRITURADOS.	92
FIGURA 4.14 – ESPECTRO DE ABSORÇÃO SOB FTIR DE COPOS DE PS TRITURADOS.....	93
FIGURA 4.15 – (A)CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PS TRITURADO,.....	93
FIGURA 4.16 - CARACTERÍSTICAS DA FIBRA: A) DIÂMETRO DA FIBRA DE COCO DE BABAÇU, B) CORTE MECÂNICO DA FIBRA.	94
FIGURA 4.17– APARÊNCIA FINAL DA PLACA DE PISO SUSTENTÁVEL.	95
FIGURA 4.18 - (A) MASSA ESPECÍFICA; B) DIFUSIVIDADE TÉRMICA.	96
FIGURA 4.19 – IMPACTO CHARPY, COMPRESSÃO E TRAÇÃO.	98
FIGURA 4.20 - FRATOGRAFIA DE PS, PS30FB.....	99
FIGURA 4.21 – PEÇA DA TELHA SUSTENTÁVEL.	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 RESULTADO FINAL PARA AS DENSIDADES	69
TABELA 3.2 - FORMULAÇÕES PARA CONFEÇÃO DOS ECO-PISOS.	74
TABELA 4.1- RESISTÊNCIA COMPRESSÃO.....	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society for testing and materials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ARLEC	Conselho Executivo Americano de Logística Reversa
CLR	Crédito de Logística Reversa
DRX	Difração de Raios – X
DS	Desenvolvimento Sustentável
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLR	Gestão de Logística Reversa
LR	Logística Reversa
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ODS	Objetivo do Desenvolvimento Sustentável
NBR	Norma Técnica
PET	Polietileno Tereftalato
PR	Plástico Reciclado
PVA	Poliacetato de Vinila
PVC	Policloreto de Vinila
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PP	Polipropileno
OS	Poliestireno
RPS	Resíduos Plásticos Sólidos
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UFPA	Universidade Federal do Pará

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Alfa
H	Altura
Θ	Ângulo
C	Comprimento
L	Comprimento
d	Densidade
h	Espessura
g	Grama
°	Grau
j	Joule
kJ	Quilo joule
$\pm$	Mais ou menos
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
H	Rotação
T	Temperatura

Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	15
1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1.2 – OBJETIVOS	18
1.2.1 – Principal.....	18
1.2.2 – Específicos	18
1.3 – CONTRIBUIÇÃO DA TESE	18
1.4 – SÍNTESE DA PESQUISA.....	19
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 – SUSTENTABILIDADE	21
2.1.1 – Dimensão Ambiental.....	21
2.1.2 – Dimensão Econômica.....	22
2.1.3 – Dimensão Social.....	23
2.1.4 – Desenvolvimento Sustentável	24
2.1.5 – Gestão Ambiental	27
2.1.6 – Resíduos Sólidos no Brasil.....	28
2.1.7 – Coleta Seletiva	29
2.1.8 – Logística Reversa.....	30
2.1.9 – Créditos de Logística Reversa.....	33
2.1.10 – Certificações Ambientais como Motivação de Desenvolvimento de Moradias Sustentáveis	35
2.1.11 – Bioconstrução.....	35
2.1.12 – Impactos Ambientais Causados pelas Obras de Construção Civil	36
2.1.13 – Diretrizes para uma Construção Sustentáveis.....	38
2.1.14 – Cidades Inteligentes	39
2.2 – SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS	42
2.2.1 – Bream.....	42
2.2.2 – LEED	43
2.2.3 – AQUA- HQE	44
2.2.4 – CBC Brasil Casa.....	44
2.2.5 – Selo Azul	46

2.3 – PROCESSO DE RECICLAGEM DE POLÍMEROS.....	47
2.3.1 – Polímeros	47
2.3.2 – Bioplásticos	48
2.3.3 – Polímeros Biodegradáveis.....	48
2.3.4 – Tempo de Degradação dos Plásticos.....	49
2.3.5 – Polímeros Reciclados	50
2.4 – PISOS SUSTENTÁVEIS	51
2.5– FIBRAS	52
2.5.1 – O Uso de Fibras Naturais em Compósitos	52
2.5.2 – Fibra de Coco de Babaçu	54
2.6 – BLOCOS SUSTENTÁVEIS.....	55
2.6.1 – Blocos com Fibras Termo Acusticas.....	56
2.7 – COBERTURAS ECOLÓGICAS	57
2.8 – ROTOMOLDAGEM	58
2.9 – DESEMPENHO DE MATERIAIS RECICLADOS	58
2.9.1 – Especificações de Desempenho	60
2.9.2 – As Diferentes Funções dos Reciclados	60
2.9.3 – Dificuldades Enfrentadas pelo Mercado de Reciclados.....	61
2.10 – A TECNOLOGIA PODE SER UMA ALIADA	61
2.11 – A MOLDAGEM POR COMPRESSÃO NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS	62
CAPÍTULO 3 – MATERIAS E MÉTODOS	64
3.1 – BLOCOS	65
3.1.1 – Materiais dos Blocos.....	65
3.1.2 – Ensaios Experimentais	66
3.1.3 – Requisitos de Desempenho de Acordo com a Norma ABNT NBR 15575	69
3.2 – PISOS.....	70
3.2.1 – Matriz polimérica	71
3.2.2 – Carga Fibrosa.....	71
3.2.3 – Pigmento	71
3.2.4 – Confeção dos Compósitos.....	73
3.2.5 – Caracterização do Material.....	74

3.2.6 – Massa Específica	74
3.2.7 – Absorção de Água	74
3.2.8 – Abrasão	75
3.2.8 – Análise Fototérmica	76
3.2.9 – Análise por Difração de Raios - X.....	77
3.2.10 – Análise por Espectroscopia no Infravermelho	77
3.2.11 – Comportamento à chama	78
3.2.12 – Resistência	78
3.2.13 – Confeção dos Corpos de Prova	79
3.3 – TELHAS	79
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
4.1 - BLOCOS	81
4.1.1 - A revalorização das poliolefinas de PP	81
4.1.2 - Revalorização do PEAD	83
4.1.3 - Rotomoldagem do Bloco	83
4.1.4 - Microscopia Óptica	85
4.1.5 - Densidade – Método do Picnômetro	86
4.1.6 – Ensaio de Resistência	86
4.1.7 – Ensaio de Flexão	89
4.2 – PISOS.....	91
4.2.1 – Análise do PS	91
4.2.2 – Análise da Fibra.....	94
4.2.3 – Reciclagem	94
4.2.4 – Aparato Experimental	94
4.3 – CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	95
4.3.1 – Aspecto Superficial	95
4.3.2 – Massa específica e difusividade térmica	95
4.3.4 – Impacto Charpy, compressão e tração	97
4.3.5 – Superfície de fratura dos compósitos	98
4.4 – TELHAS	99
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
5.1 – CONCLUSÕES	101

5.2 – TRABALHOS FUTUROS.....	102
CAPÍTULO 6 REFERÊNCIAS.....	103

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A sustentabilidade deve ser um componente integral da agenda. Passos precisam ser dados para alinhar as necessidades sociais com o desenvolvimento urbano em diferentes níveis administrativos (SUGANDHA, 2022).

A sustentabilidade em edificações tem sido amplamente discutida na literatura de diferentes perspectivas. A indústria da construção é responsável por impactos ambientais significativos devido ao seu alto índice de consumo de recursos naturais globalmente, resultando na geração de entre 2 e 3 bilhões de toneladas de resíduos de construção por ano. A indústria da construção é responsável por gerar um excesso de impactos negativos sobre o meio ambiente e impactando muitos problemas socioeconômicos em todo o mundo (FIGUEIREDO et al, 2022).

O desafio enfrentado pelos edifícios verdes não é apenas a necessidade técnica de reduzir o uso de energia, mas também em fornecer um lugar sustentável para a habitação humana. Portanto, a metodologia de construção verde é um conceito bem estabelecido e claramente definido estratégia para alcançar impactos ambientais sustentáveis em vários climas em resposta aos problemas mundiais de energia e saúde (HE et al, 2022).

Bae em 2020, realizou um estudo de modelo de construção sustentável que pode simultaneamente minimizar as emissões de CO₂ e os custos dos sistemas de lajes plano em edifícios residenciais e de uso misto são propostos na forma de uma solução de otimização. O modelo desenvolvido foi utilizado para analisar a influência das mudanças nos valores dos parâmetros de projeto nas emissões CO₂, custo de construção de lajes planas em projeto e construção e considerando que o isolamento acústico por laje, cria muitas limitações no que diz respeito à proposta de projetos efetivos.

Muitos esforços são direcionados para melhorar os métodos de reciclagem e

reutilização de componentes plásticos de resíduos industriais e municipais. No entanto, os custos de processamento de polímeros reciclados muitas vezes não são competitivos com os dos produtos virgens. Misturando polímeros pós-consumo em condições adequadas podem fornecer uma rota alternativa para a comercialização de materiais reciclados com relação custo/desempenho satisfatória e potenciais de aplicação em embalagens e nos setores doméstico e de engenharia. PET e poliolefinas (PO), como polietileno de alta densidade (HDPE), baixa densidade polietileno (LDPE) e polipropileno (PP) são os termoplásticos mais amplamente utilizados em aplicações de embalagens (garrafas, recipientes, filmes, etc.) que possuem uma vida útil baixa. HDPE tem alta resistência ao impacto, enquanto PET tem excelente resistência ao calor, dureza e estabilidade química. Acredita-se que as misturas de PET/HDPE podem ser particularmente vantajosas, pois novos materiais com combinações de propriedades promissoras podem ser obtidos a preços relativamente baixos. Além disso, essas misturas podem ser fabricadas com materiais reciclados agregando valor aos resíduos (SANTOS *et al*, 2022).

Os polímeros termoplásticos são acessíveis, leves e duráveis, tornando-os excelentes para moldagem em uma ampla gama de itens que podem ser usados em várias aplicações. A manufatura de materiais plásticos expandiu substancialmente nas últimas décadas, apresentando uma grande preocupação em todo o mundo. O consumo de plástico aumentará nas próximas décadas e, como resultado desse aumento necessidade e uso, o resíduo plástico também aumentará. Em comparação com abordagens tradicionais, este estudo mostra que a reciclagem é a melhor maneira de tratar resíduos de polímero. Desde a descoberta do PET e o início da reciclagem química de PET na década de 1950, tem havido muito interesse em a comunidade de pesquisa. Esta revisão visa fornecer uma revisão atualizada de métodos de reciclagem de resíduos de plástico, demonstra os benefícios e desvantagens de cada método de reciclagem, bem como derivar produtos químicos de blocos de construção diferentes e produtos de valor agregado de químicos reciclados. Existem diferentes processos de reciclagem para produtos químicos PET (BHANDERI *et al*, 2023).

Os resíduos plásticos, principalmente no meio urbano, têm gerado grande preocupação da sociedade, devido aos problemas ambientais oriundos da destinação

incorreta destes rejeitos. A disposição inadequada de resíduos é uma das principais causas da degradação do meio ambiente, com potencial de afetar a qualidade de vida da população e o capital social, o equilíbrio dos ecossistemas e a disponibilidade de recursos naturais, uma destinação possível seria a utilização desses resíduos como materiais de construção em uma edificação sustentável (SUGANDHA, 2022).

As análises de Bonadies et al 2022, revelaram uma desestruturação parcial do componente celulósico durante o processamento, com a coexistência de ambos os celulósicos simples fibras e aglomerados residuais de celulose compactos semelhantes a papel e fragmentos de folha de alumínio. As propriedades mecânicas dos compósitos determinados variam dos valores típicos de levemente preenchido polímero/madeira ou polímero/compósitos de celulose para materiais altamente fibrosos (ou seja, painéis de partículas, painéis de fibra) com o maior teor de MC (80–90% em peso). Testes de absorção de água revelaram uma resistência à água muito boa, em particular para os sistemas C-Al.

O sistema estrutural usando tijolos com “geopolímeros sustentáveis” e de baixa densidade melhoram o desempenho estrutural e se adaptam idealmente à construção modular para resolver os desafios relacionados aos edifícios com elementos pré-moldados (IFTIKHAR, 2020).

Com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos, com um gerenciamento oneroso e complexo considerando-se volume e massa acumulados

Os tijolos de alvenaria ecoeficientes, ou seja, tijolos geopoliméricos parecem ser os mais vantajosos, porque eles podem ser produzidos com um alto teor de resíduos. Em comparação com tijolos cimentados, geopoliméricos não precisam de adição de ligante e, portanto, são mais ecológicos. Em comparação com tijolos de argila cozida, não possuem consumo de energia por não serem queimados. A variação nos materiais de origem altera significativamente as propriedades físicas, químicas e mecânicas de ativação alcalina dos tijolos. Após o tratamento preliminar, os resíduos gerados na indústria (GAVALI, 2020).

Devido a problemática discutida, faz-se necessário reciclar, reutilizar (fechar o ciclo) os resíduos provenientes das atividades humanas. Para isso, necessita-se de mecanismo de gerenciamento e estudo que vão desde sua geração até sua destinação final (CAIADO *et al.*, 2017). Logo, a principal motivação que levou ao desenvolvimento deste trabalho foi desenvolver produtos à base de materiais poliméricos presentes nestes resíduos, e com isso chegar a uma contribuição científica dentro da lógica de valorização e reaproveitamento de resíduos sólidos (GAVALI, 2020).

É neste sentido, que este trabalho apresenta uma proposta de materiais sustentáveis como: blocos ecológicos de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD) reciclada por rotomoldagem a partir de embalagens pós-consumo, telhas sustentáveis, piso ecológico e material para a área externa.

1.2 – OBJETIVOS

1.2.1 – Principal

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar materiais de construção para uma moradia sustentável, utilizando polímeros de materiais de descarte reciclados.

1.2.2– Específicos

- Avaliar os resultados físicos e mecânicos desses materiais;
- Usar as propriedades térmicas e acústicas apresentadas pelos materiais criados;
- Avaliar a possibilidade de uso deste material como painéis divisórios internos, pisos, telhas na indústria da construção civil;

1.3 – CONTRIBUIÇÃO DA TESE

As contribuições da tese são:

- Uma nova metodologia para a produção de blocos e telhas sustentáveis;
- Proposta de utilização dessas novas tecnologias e de transferência de tecnologias das patentes de piso, de painéis termo acústicos e de pavimentos.

1.4 – SÍNTESE DA PESQUISA

Este trabalho está organizada da seguinte forma:

O Capítulo 1 apresenta uma breve descrição da situação de como são usados os diferentes materiais, este também aborda a problemática e antecedentes que levou ao interesse em desenvolver o trabalho, em seguida é apresentado o objetivo proposto nesta dissertação.

No Capítulo 2 é realizado uma revisão bibliográfica abordando os principais trabalhos relacionados a cada material e processos utilizado para a realização deste trabalho.

No Capítulo 3 são descritos os métodos utilizados tanto para o desenvolvimento de telhas, blocos e placas como os métodos para a realização dos ensaios.

O Capítulo 4 são apresentados os resultados referentes ao desenvolvimento de telhas, placas e blocos e dos ensaios realizadas nestes.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões relativas ao desenvolvimento de telhas, placas e blocos e dos ensaios analisados no Capítulo 4.

CAPÍTULO 2 –REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de edificações sustentáveis são adequados para construção pré-fabricada e, portanto, o seu uso em condomínios sustentáveis modernos. Blanck 2020 investigou o uso desses sistemas tanto na parte interna quanto externa das edificações, um condomínio composto por materiais sustentáveis.

O custo da habitação é um gasto familiar notável, quer a habitação seja alugada ou comprada e, conseqüentemente, tem um efeito fundamental sobre os padrões de vida das famílias. As famílias sobrecarregadas com o custo da habitação podem cortar outras necessidades importantes, como cuidados de saúde e dieta. Além disso, a médio prazo, as famílias podem compensar os custos por uma qualidade inferior de habitação, como menor tamanho de quartos e habitação em locais mais pobres que carecem de melhor acesso à educação e outras amenidades sociais. As questões sociais têm sido frequentemente citadas como a causa da segregação residencial (MARCHESI, 2021).

Por outro lado, o acesso a habitação adequada e acessível garante a prevenção da pobreza, inclusão laboral e prevenção da exclusão social. Além disso, uma casa pode valorizar-se, pois representa uma elevada fração da renda da maioria das famílias (KALANTIDOU, 2020).

Nos últimos trinta anos, a propriedade da habitação tornou-se cada vez mais inatingível nos grandes centros urbanos, enquanto o arrendamento dependente da crescente precarização do trabalho, especialmente desde a recessão. A precariedade tem sido descrita como uma condição induzida de vulnerabilidade maximizada. No caso da habitação, é necessária a produção de espaço e estabelecer novas condições de vida na cidade. A mudança do cenário da habitação levou ao desenvolvimento de o conceito de precariedade habitacional definido como um estado de incerteza que aumenta a percepção real ou percebida de uma pessoa, probabilidade de experimentar um evento adverso, causado (pelo menos em parte) por sua relação com seu provedor de habitação, as qualidades físicas, acessibilidade, segurança de sua casa e acesso a serviços essenciais (BLANCK, 2020).

Garantir instalações habitacionais seguras, acessíveis e energeticamente eficientes para o público em geral até 2030, como já foi citado, são objetivos proeminentes delineados dentro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

A sustentabilidade pode ser aplicada em várias etapas da construção da edificação, algumas dessas etapas já são bastante praticadas no mundo inteiro, com os mais diferentes materiais e metodologias construtivas. Veremos algumas dessas práticas existentes nas diversas fases da obra.

Para tratarmos do tema, é necessário que se aborde, inicialmente, alguns conceitos intrínsecos a essa temática:

2.1 – SUSTENTABILIDADE

A perspectiva da sustentabilidade vem evoluindo desde ênfases limitadas a aspectos isolados do consumo e produção até perspectiva geral que consideram a totalidade do planeta. No contexto dos estudos da sustentabilidade há um ponto de consenso que permite afirmar que suas principais dimensões (ambiental, econômica e social) são intrinsecamente interdependentes e, por isso, acontecem concomitantemente. Pode-se dizer que a tríade das dimensões mais conhecidas da sustentabilidade configura principalmente um arranjo conceitual, que deve ser uma referência teórica para pesquisadores e profissionais da área e são:

2.1.1 – Dimensão Ambiental

Diz respeito aos aspectos concretos das limitações dos recursos naturais do planeta Terra. As atividades humanas sempre estiveram subordinadas aos fenômenos naturais e às capacidades do planeta. Visto isso, há que se respeitar a dimensão ambiental (ou ecológica) da sustentabilidade. Esta dimensão compreende a obediência aos ciclos temporais da Terra, preservando fontes energéticas e de insumos naturais, visando a mínima deterioração do meio ambiente (WALLACE *et al*, 2021).

Entretanto, no cenário atual, observando a questão da permanência do homem sobre o planeta, percebe-se que há um duplo desequilíbrio ecológico: por um lado, há o esgotamento de matérias-primas naturais e do outro, um galopante acúmulo dos resíduos resultantes da atividade industrial e do consumo destes produtos (VILLALBA & USECHE, 2021).

Os impactos de proporções geológicas da industrialização - desde o século XVIII até hoje - justificam a compreensão de uma nova época geológica. A esta época atribui-se o nome Antropoceno. Assim, de forma paradoxal, as atividades necessárias ao pleno funcionamento do modelo desenvolvimentista atual comprometem a manutenção das riquezas naturais das quais o mesmo é dependente (WALLACE *et al*, 2021).

2.1.2 – Dimensão Econômica

Esta dimensão da sustentabilidade diz respeito ao modelo em que o crescimento econômico acontece de maneira ética e justa, mantendo-se a harmonia com as outras dimensões. Ou seja, garantindo a satisfação das necessidades humanas, as boas condições sociais dos agrupamentos de pessoas (equidade e coesão social) e a resiliência dos recursos naturais. Esta dimensão seria atribuída o destino e o gerenciamento mais eficaz dos recursos empregados, do ponto de vista econômico (PIROOZFAR, 2019).

A especificidade da dimensão econômica no contexto da sustentabilidade vem sendo estudadas e debatidas por uma parcela crescente de pensadores econômicos. Nesse contexto de pensamento emergente, apresentam-se discordâncias importantes entre uma racionalidade ecológica (focada na diminuição da exploração e do consumo para proteger a natureza) e uma racionalidade econômica ortodoxa (direcionada para uma permanente busca por maior eficiência financeira e pela exploração dos recursos naturais existentes). É possível ilustrar a influência direta desta dimensão da sustentabilidade nas outras dimensões. A ver com a dimensão social, por exemplo: fenômenos de migração de pessoas por condições econômicas locais desfavoráveis

podem acabar por quebrar laços familiares e culturais, diminuindo a coesão social em uma região (WILSON & GOFFNETT, 2021).

2.1.3 – Dimensão Social

Trata das questões relacionadas à satisfação das necessidades básicas das pessoas, a valorização das culturas locais, a melhoria do bem-estar atual e futuro, o aumento da qualidade de vida pela redução da iniquidade social no geral. Ou seja, a dimensão social da sustentabilidade orienta-se para a construção de uma sociedade humana sustentável. Uma sociedade que é justa, inclusiva e democrática (ROCHA, 2021).

Visando um cenário socialmente sustentável, faz-se necessário trabalhar de maneira enfática para reduzir significativamente as iniquidades sociais e também buscar aumentar a coesão social de comunidades voltadas à sustentabilidade. De fato, as questões sociais mudam mais dramaticamente entre locais, pessoas e culturas do que as questões relacionadas às dimensões ambiental e econômica da sustentabilidade. Assim, a dimensão social pode ser entendida como um alvo móvel, com fatores mais flutuantes do que as outras dimensões (SAFDAR, 2020).

Como exemplos das questões abordadas nessa dimensão, pode-se afirmar que as pautas que tangenciam a dimensão social são múltiplas e interconectadas, indo desde a responsabilidade social corporativa aos direitos humanos, passando por acessibilidade, políticas públicas, educação (inclusive educação para a sustentabilidade), legislação e democracia, microfinanciamento (este que influencia diretamente a dimensão econômica), inclusão social de grupos marginalizados e senso de segurança por parte dos indivíduos. Assim, dar atenção à dimensão social da sustentabilidade significa articular uma série de medidas para viabilizar a saúde, a segurança e o bem-estar das gerações presentes e futuras (ROCHA, 2021).

A Figura 2.1 mostra a correlação entre as dimensões do desenvolvimento sustentável.



Figura 2.1 - Dimensões do desenvolvimento sustentável.
Fonte: Manual de boas práticas para eficiência energética (2005).

2.1.4 – Desenvolvimento Sustentável

O conceito de Desenvolvimento Sustentável (DS) surgiu a nível mundial, resultado de análises coordenadas pela Comissão Mundial sobre o meio Ambiente e o desenvolvimento criada em 1983 pela Assembleia Geral das nações unidas, com o propósito de desenvolver o crescimento econômico e superar a pobreza dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

“Este em muito contribuiu para impor a referência ao desenvolvimento sustentável como novo elemento semântico da linguagem internacional e como elemento de focalização dos trabalhos dos peritos das organizações internacionais (Hatem, 1997 apud Aleixo et al, 2021).

O desenvolvimento sustentável tornou-se uma busca global devida a possibilidade real do esgotamento dos recursos naturais em um ritmo mais rápido e também aumento das emissões de gases de efeito estufa e. Isso gerou um esforço colaborativo em áreas-chave que requerem mais atenção de diversos formuladores

de políticas em nível nacional (ou seja, governos) e internacional (ou seja, o Banco Mundial e as Nações Unidas). A habitação é um dos principais focos que requerem políticas exigentes de desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento habitacional sustentável envolve a realização holística das metas de sustentabilidade institucional, econômica, social e ambiental. Por meio de esforços facilitadores das instituições, os governos implementaram estratégias institucionais por meio do desenvolvimento de políticas para incentivar várias partes interessadas na provisão de moradias para alcançar as metas de sustentabilidade econômica, social e ambiental na habitação (ADABREET *al*, 2022).

Os edifícios são onipresentes. O número crescente de pessoas que vivem nas cidades levará até 2030 a um aumento de 1.527,000 km² de novas áreas urbanas. Por sua vez, as atividades de urbanização e construção exacerbam a pressão sobre o meio ambiente natural, por meio do uso de recursos finitos, emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, demanda de energia e geração de resíduos. Portanto, é imperativo para uma transição mais rápida para um futuro mais justo e sustentável para avaliar com precisão os impactos ambientais de edifícios e atividades de construção, a fim de permitir decisões melhores e mais informadas em linha com o pensamento do ciclo de vida e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (PIROOZAFAR *et al*, 2019).

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, como uma resposta para a humanidade perante a crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX. Na Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), também chamada de “Rio 92” foi desenvolvido um relatório que ficou conhecido como “Nosso Futuro Comum”. Tal relatório contém informações colhidas pela comissão ao longo de três anos de pesquisa e análise, destacando-se as questões sociais, principalmente no que se refere ao uso da terra, sua ocupação, suprimento de água, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários, além de administração do crescimento urbano. Neste relatório está exposta uma das definições mais difundidas do conceito: “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (BARBOSA, 2008).

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável são:

1. Erradicação da Pobreza.
2. Fome zero e agricultura sustentável.
3. Saúde e bem-estar.
4. Educação de qualidade.
5. Igualdade de gênero.
6. Água potável e saneamento.
7. Energia acessível e limpa.
8. Trabalho decente e crescimento econômico.
9. Indústria, inovação e infraestrutura.
10. Redução das desigualdades.
11. Cidades e comunidades sustentáveis.
12. Consumo e produção sustentáveis.
13. Ação contra a mudança global do clima.
14. Vida na água.
15. Vida terrestre.
16. Paz, justiça e instituições eficazes.
17. Parcerias e meios de realização.

Na Figura 2.2 vemos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável que fazem parte da chamada “Agenda 2030”. Trata-se de um pacto global assinado durante a Cúpula das Nações Unidas em 2015 pelos 193 países membros. A agenda é composta por 17 objetivos interconectados.



Figura 2.2- Indicadores Brasileiros para os objetivos de Desenvolvimento Sustentável.
Fonte: ODSBrasil (2022).

2.1.5 – Gestão Ambiental

A Gestão Ambiental refere-se às práticas gerenciais, que são: o planejamento, a direção, o controle e a alocação de recursos que tenham por finalidade gerar benefícios para o meio ambiente, tanto reduzindo o impacto de problemas ambientais já existentes, quanto prevenindo a ocorrência de eventos que geram efeitos negativos (JAUHAR, 2021).

Gestão ambiental é a expressão utilizada para referir-se às medidas estabelecidas pela gestão das organizações com a finalidade de se evitar ou amenizar os problemas ambientais decorrentes da produção de bens e serviços. Em outras palavras, é a gestão a qual se almeja obter o desenvolvimento sustentável por meio de medidas que impeçam que os efeitos ambientais ultrapassem a capacidade de carga do meio ambiente onde está instalada a organização (TURA, 2022).

A gestão ambiental nas organizações está essencialmente relacionada às normas estabelecidas pelas instituições públicas. Estas devem instituir políticas ambientais que possam promover incentivos para a redução de desperdícios e melhor aproveitamento das matérias-primas (DUTTA, 2021).

2.1.6 – Resíduos Sólidos no Brasil

De acordo com os estudos, pode-se afirmar que a gestão de resíduos sólidos tem trazido prejuízos ambientais e econômicos para o país, pois ela ainda apresenta problemas estruturais de implementação e não está presente de maneira uniforme em todas as regiões do país. Na figura abaixo podemos ver como cada macrorregião foi avaliada quanto à coleta de resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2019).

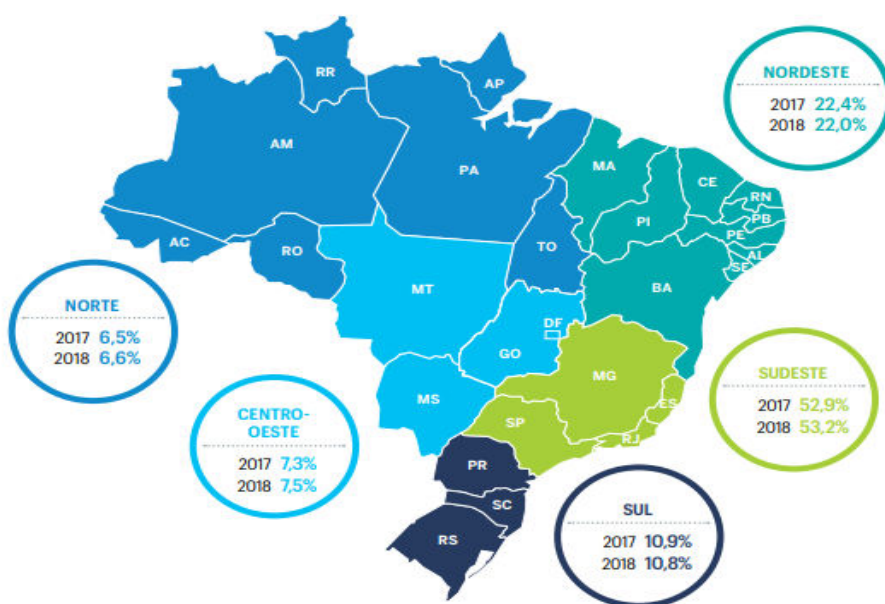


Figura 2.3- Situação dos resíduos sólidos em cada região do Brasil
Fonte: ABRELPE, 2019.

Segundo os autores do estudo, este setor ainda necessita de estruturação, gerenciamento e recursos para viabilizar os processos completos e adequados de gerenciamento de resíduos sólidos. De acordo com eles, 58,3% dos resíduos urbanos coletados foram, em 2013, para aterros sanitários, enquanto o montante restante, 41,7%, foi encaminhado para lixões ou aterros controlados. Para esses autores, essas duas formas de tratamento de resíduos pouco se diferenciam entre si, já que ambas não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações (CHAVES et al, 2017).

Ainda dentro do cenário nacional, a coleta seletiva ainda não se tornou uma prática uniforme, apesar de ser reconhecidamente indispensável para a recuperação dos materiais descartados e posterior reciclagem. De acordo com os idealizadores da pesquisa, sem uma coleta seletiva eficiente, os materiais acabam prejudicados e sem possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem (ROCHA, T. e PENTEADO, C., 2021).

Conforme explicado, o avanço nesse setor depende de um incentivo fiscal por parte do governo, referente aos materiais recicláveis ou reaproveitáveis, o que forneceria estímulo à indústria transformadora, tornando-a apta a absorver e reinserir, como matéria prima, aquilo que foi descartado como resíduo (BVRio, 2016).



Figura 2.4 - Ciclo de Logística Reversa
Fonte: BVRio, 2016.

2.1.7 – Coleta Seletiva

A coleta seletiva, outro instrumento de gestão, deverá ser implementada mediante a separação prévia dos resíduos nos locais onde são gerados, conforme sua constituição ou composição. A implantação do sistema de coleta seletiva é instrumento essencial para se atingir a meta de disposição final ambientalmente adequada dos diversos tipos de resíduos (BUDAK, 2020).

Outro aspecto muito relevante da Lei é o apoio à inclusão produtiva dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, priorizando a participação de cooperativas e associações.

Atualmente, os programas de logística reversa, para apoiar estratégias de gerenciamento de produtos em fim de vida estão se tornando mais frequentes à medida que as empresas respondem a regulamentações mais rígidas e aumentam as expectativas dos consumidores. Apesar de um corpo crescente de literatura teórica sobre este tópico, muitas instituições lutam para implementar sistemas de logística reversa eficientes e eficazes (CHAVES, 2017).

Esta pesquisa identifica estratégias comuns, considerações táticas e operacionais necessárias para projetar programas de logística reversa e oferece exemplos da indústria para mostrar como as organizações se destacaram nessas áreas. Através de uma síntese de literatura e exemplos, as principais conclusões são fornecidas em uma variedade de logística reversa. Ao fazer isso, este trabalho ilustra maneiras pelas quais os gerentes podem implementar as melhores práticas de logística reversa que não só beneficiam o meio ambiente, mas também geram valor para as partes interessadas, aumentar e melhorar o atendimento e a fidelidade do cliente e aumentar a participação de mercado e recursos de receita (SAFDAR, 2020).

2.1.8 – Logística Reversa

A conscientização e as preocupações globais em relação aos aspectos ambientais, econômicos, e sociais das operações e organizações feitas cadeias de suprimentos sustentáveis uma das áreas de pesquisa significativas nas últimas décadas. Gestão de Logística Reversa (GLR) é entendida como um dos componentes

essenciais para a movimentação rumo à sustentabilidade. A logística reversa é definida como todas as operações relativas a reutilização de materiais e produtos. Em outras palavras, é planejar, implementar e controlar a eficiência e custo-benefício fluxo de informações e produtos desde o consumo até o ponto de origem para recuperar seu valor ou destinação adequada. A adoção de LR pode ajudar a minimizar os impactos ambientais adversos através da reciclagem e reutilização de produtos em fim de vida (POURMEHDI et al, 2022).

De acordo com o Conselho Executivo Americano de Logística Reversa (ARLEC), a logística reversa é definida como; um planejamento eficiente, implementação e controle do processo com o custo efetivo das matérias-primas fluxo, ativos em andamento, produtos finais e informações relacionadas do destino ponto a ponto de origem com o objetivo de recuperar para fins de captura de valor, ou descarte adequado. Nas últimas décadas, o conceito de logística reversa surgiu devido à poluição ambiental, aumento do desperdício de recursos e efeito estufa (HASHEMI, 2021).

Para Silva (2021), a logística reversa, também instrumento da PNRS, é entendida como o instrumento para o desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios para coletar e devolver os resíduos sólidos ao setor empresarial/industrial, para reaproveitamento em seu ciclo de vida ou em outros ciclos produtivos.

A logística reversa também é definida como todas as atividades logísticas para produtos que chegaram ao fim de sua vida útil ou que requer em uma série de processos para melhorias adicionais. A logística reversa inclui todas as atividades da cadeia de suprimentos que ocorrem de forma reversa. No geral, o princípio mais importante na logística reversa é que muitos materiais que são chamados de inutilizáveis ou não utilizados pelo consumidor são valiosos e pode ser reinserido na cadeia de suprimentos com um pouco de modificação e restauração. Aplicação de logística reversa, uma das atividades logísticas mais essenciais na era atual, é o processo de coleta de lixo municipal. Começa com a coleta de lixo e termina com o processo de reciclagem de resíduos (CARVALHO et al, 2017).

Logística reversa tem recebido muita atenção devido à sua capacidade de recuperar valor de produtos devolvidos e usados e tornou-se um elemento chave na cadeia de mantimentos. Requisitos legais, responsabilidades sociais, meio ambientes preocupações, benefícios econômicos e conscientização do cliente levaram os fabricantes não apenas produzir produtos ecologicamente corretos, mas também para recuperar e recolher produtos devolvidos e usados (KUTTY, 2022).

Quando se trata de logística reversa, estamos realmente falando sobre o componente central da cadeia de suprimentos geral. Maioria a percepção das pessoas da cadeia de suprimentos é como uma rede voltada para o futuro em que as matérias-primas entram e são transformadas em produtos que são distribuídos entre os clientes. Enquanto a logística reversa funciona na direção oposta, existem muitas outras diferenças entre os dois processos. Entre todas essas diferenças, a primeira e mais fundamental diferença é que a logística reversa depende do produto (HASHEMI, 2021).

A introdução de cadeias integradas de logística reversa, conseqüentemente, necessita de investimentos em uma série de atividades, como verifica-se na Figura 2.5.



Figura 2.5 - Atividades do Ciclo de Logística Reversa
Fonte: BVRio, 2016

Desse modo, um suposto modelo integrado de logística reversa pode não ser

o mais eficiente. Pelo lado financeiro, esta atividade pode se provar onerosa e ineficiente para as empresas que tem que se adequar à lei. Por tratar-se de uma atividade secundária à atividade principal destas empresas, desviando recursos humanos e operacionais, há de se esperar que tenha baixa eficiência e alto custo (Lnenicka, 2022).

A execução direta dessas atividades pelas próprias empresas, através de soluções e equipes internas, não resultaria nos melhores ganhos sócio-econômico-ambientais. Pelo lado social, em nenhum lugar vemos a participação de catadores de resíduos, pois sua participação somente ocorreria quando houvesse uma falha na cadeia de logística reversa. Pelo lado ambiental, a separação de resíduos nas residências, e sua coleta seletiva, hoje representa menos que 3% do total de resíduos gerados no Brasil. E, pelo lado econômico, não resultaria em distribuição de renda nem criação de empregos e, ao mesmo tempo seria mais custosa ao setor produtivo (SAFDAR, 2020).

2.1.9 – Créditos de Logística Reversa

É um procedimento de compensação ambiental de resíduos sólidos urbanos aos serviços prestados pela logística reversa.

O seu surgimento é datado em 2013 por iniciativa da Bolsa de Verde do Rio (BVRio), uma associação sem fins lucrativos com o objetivo de promover o uso de mecanismos de mercado para facilitar o cumprimento de leis ambientais e apoiar a economia verde e de baixo carbono. Nesta época o CLR se baseava na remuneração unicamente de cooperativas de material reciclado, eram lastreados por meio notas fiscais das vendas de resíduos recicláveis das cooperativas a recicladoras de material reciclado, gerando assim um certificado que comprovava logística reversa determinada quantidade e tipo de resíduos (SILVA, 2020).

Verificou-se que a maioria das partes interessadas concordam que o mercado de crédito de logística reversa é uma possibilidade, mas atualmente existem obstáculos à sua implementação. Com relação à comparação do CLR com o mercado de créditos de carbono, há ainda há muitos aspectos a serem desenvolvidos antes

que o mercado de CLR se torne uma realidade. O mercado brasileiro ainda não tem nenhum respaldo legal para trabalhar, nenhuma organização para controlar e auditar o mercado (BVRio, 2016).

Créditos de Logística Reversa são certificados que comprovam um serviço de logística reversa e destinação adequada de uma certa quantidade de resíduos. Esses créditos são emitidos e vendidos por cooperativas de catadores e comprados por empresas que são legalmente responsáveis pela realização da logística reversa (fabricantes e/ou importadores desses produtos). Através da compra de créditos, as empresas estão utilizando e remunerando os serviços de logística reversa realizados pelas cooperativas de catadores (WILSON e GOFFNETT, 2021).

O pagamento por esses serviços ambientais é feito por empresas que são legalmente responsáveis pela logística reversa dos resíduos pós-consumo dos materiais que colocam no mercado. Assim, os CLR igualmente têm como objetivo de auxiliar as empresas a cumprir as suas responsabilidades legais ou promover a compensação ambiental dos itens que comercializam (OLIVEIRA *et al*, 2021).

A venda de Créditos de Logística Reversa não impede que os catadores possam vender o material físico para reciclagem. Créditos de Logística Reversa só representam o serviço ambiental prestado pelos catadores, (coleta, triagem, e destinação dos resíduos sólidos para reciclagem e reutilização no ciclo produtivo). Em outras palavras, o Crédito de Logística Reversa representa unicamente o serviço de logística reversa. Dessa forma, além da renda gerada pela venda de materiais recicláveis, os catadores também podem vender Créditos de Logística Reversa para empresas que precisam se adequar às exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (WILSON e GOFFNETT, 2021).

O processo de criação de Créditos de Logística Reversa requer que a cooperativa de catadores demonstre ter conduzido esse serviço ambiental de forma efetiva. Cooperativas precisam submeter à BVRio toda a documentação relacionada à coleta de resíduos sólidos, triagem, pesagem e venda de materiais recicláveis (BUDAK, 2020).

Uma vez emitidos os créditos, eles são negociados numa plataforma de vendas online criada para esse propósito. Cada uma das cooperativas oferece os seus créditos para venda e determina o preço desejado. Empresas cadastradas na plataforma podem acessar essas ofertas e colocar propostas de compra. Havendo compatibilidade entre preços de compra e de venda o sistema fecha a operação. A plataforma mantém a anonimidade dos participantes, evitando negociações diretas entre poderosas empresas e as pequenas cooperativas (OLIVEIRA *et al*, 2021).

2.1.10 – Certificações Ambientais como Motivação de Desenvolvimento de Moradias Sustentáveis

As certificações ambientais de construção podem ser usadas como uma ferramenta de gestão ambiental eficaz para reduzir consumo de recursos, como água e energia em um edifício. Quando aplicado a um grande número de edifícios em uma cidade, essas economias podem reduzir significativamente a demanda municipal de água e eletricidade, contribuindo assim para uma região alcançando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de forma integrada. (Lamy *et al*, 2021).

A certificação de edifícios verdes ganhou destaque global na sequência das recentes chamadas para garantir o desenvolvimento sustentável de áreas urbanas em expansão. Esta tendência está enraizada no fato de que os edifícios são entre as principais fontes de consumo de energia e emissões de CO₂. Certificação verde, portanto, surgiu em resposta às preocupações de sustentabilidade em todo o setor de construção. No entanto, os significativos custos exigidos por investimentos verdes atraíram a atenção dos estudiosos, na tentativa de determinar-se os benefícios da certificação verde superam seus custos (Porumb *et al*, 2020).

A certificação é uma das ferramentas de governança tradicionalmente utilizadas em áreas urbanas, com mecanismos de padronização, fiscalização e reconhecimento. É um mecanismo de governança globalmente reconhecido, voluntário e orientado pelo mercado para a conservação e sustentabilidade (Porumb *et al*, 2020).

2.1.11 – Bioconstrução

No setor da construção civil, o conceito que trata de todas as iniciativas que visam diminuir os impactos ambientais ao meio ambiente, é o de construção sustentável. Porém, na abordagem da Permacultura, entende-se "construção sustentável" como um termo genérico para designar coisas distintas e com especificidades. O termo aponta para correntes diversas da construção sustentável, tais como bioarquitetura, arquitetura bioclimáticas, construção ecológica, eco casas, construção natural e bioconstrução, entre outros. Na maioria dos casos, o design permacultural que inclui moradias se vale de técnicas e procedimentos cuja aplicação se chama "bioconstrução". (MARCHESI, 2021).

Dessa forma, utiliza-se o termo bioconstrução como o tipo de construção que visa a utilização de materiais ecológicos, reduzindo o impacto ao meio ambiente por meio de técnicas da arquitetura vernácula mundial, algumas delas com centenas de anos de história e experiência, tendo como característica a preferência por materiais do local, como a terra, reduzindo gastos com fabricação e transporte e construindo habitações com custo reduzido e que oferecem excelente conforto térmico (DASANAYAKA, 2021).

O que diferencia a bioconstrução das demais técnicas ou métodos construtivos são a ênfase no uso de recursos naturais locais, com a aceitação de recursos eventualmente industrializados em contextos como o de reuso ou reciclagem, e a associação à ideia de "autoconstrução", que significa que o futuro morador participa ativamente da obra em todas as suas etapas e, muitas vezes, envolve a família e a comunidade na qual está inserido na construção. Deste modo, a bioconstrução pode ser entendida como uma metodologia, pois contempla princípios norteadores que, quando aplicados, definem a técnica específica adequada caso a caso (RIJNSOEVER, 2022).

2.1.12 – Impactos Ambientais Causados pelas Obras de Construção Civil

Impacto ambiental é qualquer alteração feita pelo ser humano, grande ou pequena, boa ou ruim, no meio ou em algum de seus componentes, por alguma atividade externa. É importante o estudo desses impactos para se avaliar as

consequências e a possibilidade de prevenção, principalmente quando tais impactos acontecem pela execução de certos projetos e obras da Construção Civil.

Por causa desses impactos causados e da necessidade se sua minimização, o setor vem, cada dia mais, buscando o desenvolvimento sustentável na área. A Construção Civil é uma atividade extremamente poluente, através de seu consumo excessivo dos recursos naturais e geração de resíduos durante toda sua vida útil, fazendo com que ela seja um dos maiores causadores de impactos ambientais. Segundo Ceotto (2008), os impactos do setor ao meio ambiente são:

- A operação dos edifícios consome mais de 40% de toda energia produzida no mundo;
 - Consome 50% da energia elétrica e 20% do total de energia produzida no Brasil;
 - A Construção Civil gera de 35% a 40% de todo resíduo produzido na atividade humana;
 - Na construção e reforma dos edifícios se produzem anualmente perto de 400 kg de entulho por habitante, volume quase igual ao do lixo urbano;
 - A produção de cimento gera 8% a 9% de todo o CO₂ emitido no Brasil, sendo 6% somente na descarbonatação do calcário;
 - Assim como o cimento, a maioria dos insumos usados pela Construção Civil é produzida com alto consumo de energia e grande liberação de CO₂. Além disso, a Construção Civil é responsável pelo consumo de 66% de toda madeira extraída, gera 40% de todos resíduos na zona urbana, e é uma atividade geradora de poeira, seja na extração de matéria prima, seja na própria obra.
- (HANSEN, 2008).

Existem várias alternativas e tecnologias para minimização desses impactos, mas, para que uma construção seja sustentável, ela deve atender a três requisitos: Econômico, social e ambiental. O primeiro passo para uma Construção Sustentável, não requer muito investimento, mas, sim, uma mudança de cultura, uma conscientização, buscando uma redução de perdas, de consumo e de geração de resíduos. Apesar de ser uma ação simples, não é fácil de ser absorvida pelos envolvidos. Uma primeira ação visando a diminuição do impacto visa mudar a nossa cultura e maneira de agir. Num primeiro momento, não é necessário investir em novas tecnologias, nem mudar as técnicas usadas atualmente. Basta investir na mudança

da cultura dos colaboradores, visando uma redução das perdas e da geração de entulho (TURNER et al, 2022).

Não existe uma regra, para minimização dos impactos ambientais, mas invariavelmente as soluções adotadas seguem as seguintes premissas (CEOTTO,2008):

- 1- Redução do consumo de energia.
- 2- Redução do consumo de água.
- 3- Aumento da absorção da água de chuva e diminuição do seu envio às redes públicas ou vias públicas.
- 4- Redução do volume de lixo ou possibilidade de facilitar a sua reciclagem.
- 5- Facilidade de limpeza e manutenção.
- 6- Utilização de materiais reciclados.
- 7- Aumento da durabilidade do edifício e a possibilidade de modernização e reuso após o término de sua vida útil.

A Construção Sustentável provém de práticas construtivas conscientes, que buscam técnicas para a redução do impacto negativo no meio ambiente, e que implicam na utilização de materiais, desde a implantação, fase de projeto, construção, manutenção, e até a demolição, ou seja, durante toda vida útil da obra. Buscam maior eficiência, economia e qualidade dos edifícios, prejudicando minimamente o meio, utilizando recursos ecologicamente corretos, garantindo bem-estar e qualidade de vida para gerações atuais e futuras. Para isso é necessário seguir algumas diretrizes (IDLE, 2020).

2.1.13 – Diretrizes para uma Construção Sustentáveis

→Planejamento sustentável da obra

Deve-se analisar o ciclo de vida dos materiais na natureza e da obra, buscando alternativas saudáveis, como o reaproveitamento, reciclagem, entre outros. São escolhas conscientes e responsáveis de tudo que entra na obra (materiais), de tudo o que sai (entulhos) e que implicam toda a vida útil do empreendimento. Deve-se

analisar as condições climáticas, intempéries, o entorno da construção, o consumo energético, a gestão de água e a gestão de resíduos, para que se possa antes do início da obra, prever e minimizar os impactos ambientais causados pela construção, buscando sempre soluções econômicas que tragam qualidade de vida aos moradores (STARR et al, 2015).

→Aproveitamento passivo dos recursos naturais

Deve-se analisar o clima local, aproveitando todos seus recursos naturais e locais, para melhor manejo e integração de habitat, efetuando o planejamento do espaço e a disposição de ambiente, para potencializar utilização de energias naturais, luz etc. Se possível, é recomendado manter o nível de seu terreno, evitando gastos de energia para movimentação de terra. Deve-se também analisar o local da obra e seu entorno, evitando interferências ou quaisquer efeitos negativos ao bem-estar dos moradores ou ao meio ambiente. É igualmente importante buscar iluminação natural, conforto térmico e acústico, além de redução de consumo de água e energia elétrica (BALCON, 2021).

→Eficiência energética

Eficiência energética é o consumo inteligente de energia, obtendo os mesmos resultados com menor gasto de energia. Esse consumo inteligente, também chamado de “racional”, pode se iniciar com conscientização, pequenas mudanças de hábitos, e com a utilização de tecnologias, materiais e equipamentos mais eficientes. Uma das melhores maneiras de reduzir os impactos ambientais é reduzindo o consumo energético. Não é preciso grandes mudanças, apenas a consciência que a energia não é uma fonte inesgotável, e que, além de proporcionar um bem ao planeta e ao nosso futuro, é possível, com atitudes e hábitos simples, conseguir uma excelente economia financeira. A eficiência energética é um dos pré-requisitos necessários para se alcançar a sustentabilidade (BALCON, 2021).

2.1.14 – Cidades Inteligentes

As cidades enfrentam cada vez mais desafios devido à rápida urbanização. Isto estima-se que até 2050, 66% da população global viverá em cidades, que também aumentará a quantidade de consumo de materiais nas cidades. Conforme estimado já na década anterior, as cidades consomem 75% dos recursos naturais globalmente disponíveis, como energia, matérias-primas, água e alimentos. Crescimento, desempenho, competitividade e meios de subsistência dos residentes são aspectos em que cidades devem enfrentar vários desafios. Esses desafios estão relacionados à gestão de resíduos, recursos escassos, poluição, problemas de trânsito e envelhecimento da população, por exemplo (UNEP, 2018).

A cidade inteligente como conceito fornece uma abordagem potencial para encontrar soluções para os vários problemas de sustentabilidade derivados da rápida urbanização. A cidade inteligente é um conceito que possui múltiplas definições que variam de acordo com os elementos que uma cidade precisa para ser vista como inteligente, os recursos que ela precisa, suas características, objetivos, propósito e escopo. Na literatura anterior, as definições de cidade inteligente variam de definições orientadas para a sustentabilidade para definições que se concentram apenas na importância de utilizar a informação e tecnologias de comunicação (TIC) na combinação de recursos para fazer cidades mais inteligentes, interconectadas e habitáveis (HERATH, 2022).

Outro conceito relacionado aos elementos comuns é o conceito de cidade sustentável. Apesar da confusão conceitual, a transição para cidades inteligentes é vista como um caminho essencial para alcançar o 11º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU de inclusivo, seguro, resiliente e cidades sustentáveis. Assim, uma cidade inteligente pode ser vista como um empreendimento urbano inovador, visando o desenvolvimento sustentável e a alta qualidade de vida de seus cidadãos (ILIC *et al*, 2022).

Ultimamente, a cidade inteligente também tem sido cada vez mais ligada ao conceito de inovação. Isso também levanta questões sobre a relação entre cidades inteligentes, desenvolvimento sustentável e inovação. As inovações no conceito de cidade inteligente podem, em alguns contextos, ser entendido principalmente através do desenvolvimento tecnológico e otimização operacional. No entanto, o

desenvolvimento sustentável também exige inovações que visem a transformação (organizacional), exigindo assim inovações para possibilitar mudanças em um nível institucional e social. Esses tipos de inovações (que vão desde otimização operacional para a construção de sistemas) que visam a economia, criação de valor ambiental e social são definidas como inovações orientadas para a sustentabilidade-SOI (SECINARO *et al*, 2022).

Em outras palavras, SOI's são inovações, que envolvem mudanças intencionais nas filosofias e valores (da organização), superando os benefícios de sustentabilidade de produtos, serviços, processos, práticas e sistemas anteriores (ADAMS *et al.*, 2016).

Como a literatura mostra, tanto a cidade inteligente quanto a inovação orientada para a sustentabilidade estão desenvolvendo conceitos que carecem de clareza. No contexto do desenvolvimento de cidades inteligentes, o desenvolvimento de SOI significa o desenvolvimento de novos produtos, serviços, processos e modelos de negócios colaborativos que impulsionam o desenvolvimento urbano sustentável. A sustentabilidade pode ser integrada no desenvolvimento de cidades inteligentes para vários graus (escopo, objetivos e meios) e níveis de processos SOI podem variar desde leves adaptações de processos até investimentos, incluindo altos riscos e incertezas (ADAMS *et al.*, 2016).

A compreensão do conceito de cidade inteligente vai desde definições orientadas para a sustentabilidade para definições não orientadas para a sustentabilidade. Embora as definições variem, uma característica comum é que a cidade inteligente está fortemente ligada ao uso de TIC (como sensores, monitoramento em tempo real e plataformas de compartilhamento de conhecimento digital) que ajuda a aumentar a eficiência e eficácia de sistemas e gestão urbana, por exemplo em termos de otimização e inteligência coletiva (SECINARO *et al*, 2022).

De acordo com a meta 11 de Desenvolvimento Sustentável da ONU, cidade sustentável é uma cidade que se dedica a alcançar a sustentabilidade verde, sustentabilidade social e sustentabilidade econômica.

Embora o conceito de cidade inteligente seja relativamente novo e sistêmico, o entendimento a respeito ainda está em desenvolvimento, alguma literatura sistemática existem revisões que se concentraram em vários aspectos das cidades inteligentes. No entanto, estas se concentram principalmente em investigar o conceito e sua ligação com outros conceitos relacionados. Por exemplo, os esforços foram concentrados em investigar as ligações entre cidades inteligentes e cidades digitais, diferentes domínios de cidades inteligentes, governança urbana inteligente, e certas tecnologias e dados no contexto da cidade inteligente (RANI, 2022).

Esses fluxos de pesquisa ajudam a entender a evolução e surgimento do conceito de cidade inteligente e como ele se relaciona com a economia digital e desenvolvimento sustentável. No entanto, até agora, revisões anteriores não se concentraram na natureza e no desenvolvimento de inovações orientadas para a sustentabilidade em cidades inteligentes. Ainda não está claro para até que ponto o desenvolvimento sustentável e os SOIs são estratégias para atingir uma cidade inteligente ou até que ponto o desenvolvimento da cidade inteligente permite o desenvolvimento de inovações orientadas para a sustentabilidade. As revisões da literatura disponíveis não prestam atenção às ligações entre esses dois conceitos (FREESTONE, 2022).

2.2 – SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

2.2.1 – Breeam

A certificação Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) foi originada na Inglaterra em 1992, como o primeiro método de avaliação de edifícios sustentáveis do mundo. Uma das vantagens está a fácil adaptação para diversas zonas climáticas e o acúmulo de pontos por meio de certificações locais, como a brasileira Procel, de eficiência energética. No Reino Unido também há benefícios fiscais para quem adotar a certificação. Outro fator interessante para programas de habitação é o custo progressivamente menor do selo. O Breeam é importante para habitações sociais porque torna-se mais barato a medida em que o conjunto de construções aumenta.

2.2.2 – LEED

Leadership in Energy and Environmental Design ou Liderança em Energia e Design Ambiental. Desenvolvido pelo Conselho de Green Building dos Estados Unidos (USGBC), esta certificação aportou com força no Brasil no final de 2006, com a criação do Green Building Council Brasil, espécie de filial da entidade. Depois de ser desenvolvido nos EUA, o sistema de classificação LEED agora também é emitido em países estrangeiros, e, desta forma, tornou-se um sistema de certificação. Nesse sentido, o LEED tem sido amplamente utilizado na Europa, especialmente em países como Itália, Turquia, Espanha, Finlândia e Suécia. Uso de um sistema de classificação internacional em países estrangeiros exige adaptação ao clima local e disponibilidade de recursos, bem como a tecnologia local, demografia e questões culturais (PUSHKAR, 2020).

O Brasil ocupa o 4º lugar no ranking dos países e regiões fora dos Estados Unidos com o maior número de projetos que buscam esta certificação. Com o objetivo de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação, sempre com foco na sustentabilidade, este selo foi se aprimorando e se adequando para diversos tipos de edificações: Novas Construções e Grandes Reformas, Escritórios Comerciais e Lojas de Varejo, Empreendimentos Existentes e Bairros.

Independente da categoria, esta certificação funciona para todos os edifícios e pode ser aplicada a qualquer momento no empreendimento, porém sugerimos sempre que o edifício seja projetado considerando o LEED desde o início. Os projetos são analisados em 8 categorias, com práticas obrigatórias e recomendações que, à medida que são atendidas, garantem pontos à edificação.

No Brasil, a tipologia da certificação LEED mais utilizada é a BD+C (Building Design and Construction), voltada para Novas Construções e Grandes Reformas. Ela pode ser aplicada a quase todos os tipos de projeto, desde hospitais até fábricas, e prédios de escritórios, e possui adaptações específicas para diversos projetos.

Há também a tipologia ID+C (Interior Design and Construction), para espaços internos, e permite o desenvolvimento de ambientes mais saudáveis para o planeta e para as pessoas. Esta tipologia é muito utilizada em escritórios, lojas e restaurantes dentro de shoppings (OBATA, 2019).

2.2.3 – AQUA- HQE

AQUA-HQE™ é uma certificação internacional de alta qualidade ambiental, originada a partir da renomada certificação francesa Démarche HQE™ é aplicada no Brasil exclusivamente pela fundação Vanzolini.

O diferencial da certificação AQUA-HQE é que mesmo tendo sido iniciada de referências estrangeiras, em 2007 suas documentações foram adaptadas pela Vanzolini em parceria com a Escola Politécnica da USP, considerando o clima, a cultura, as regulamentações e as normas técnicas brasileiras.

Benefícios desta certificação para a sociedade:

- Menor demanda sobre a infraestrutura urbana;
- Menor demanda de recursos hídricos e energéticos;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes;
- Menor impacto à vizinhança;
- Redução de resíduos e valorização;
- Gestão de riscos naturais e tecnológicos sobre solo, água, ar, etc.

2.2.4 – CBC Brasil Casa

A Certificação GBC Brasil Casa foi desenvolvida pelo Green Building Council Brasil que possui a função de fornecer meios fundamentais para projetar, construir e operar residências com desempenho e práticas sustentáveis. Além disso, busca-se incrementar o setor industrial em prol da sustentabilidade e da modificação do ambiente construído, através da educação e dissipação das práticas necessárias para construir ecologicamente correto.

O GBC Brasil (2019) ressalta que é extremamente importante criar parâmetros técnicos e desenvolver conceitos sustentáveis para o setor residencial no Brasil. Ele apresenta um guia que traz informações que possibilitam a redução de custos operacionais, que estimulam a criação de políticas públicas e benefícios fiscais para residências que aderem arranjos de sustentabilidade em seus projetos. O público alvo da certificação são os profissionais envolvidos no processo de construir, tais como arquitetos, engenheiros e outros profissionais, e todos aqueles que procuram e defendem um diferencial no mercado ao desenvolver projetos eficientes.

O conteúdo da Certificação GBC Brasil Casa foi criado pelos Comitês Técnicos do GBC Brasil, que se orientou pelas Certificações Brasileiras e internacionais. As categorias abordadas pela Certificação GBC Brasil Casa são apresentadas na Figura 2.6.



Figura 2.6 - Categorias abordadas pela Certificação GBC Brasil
Fonte: GBC Brasil, 2019.

O GBC Brasil (2019) traz as condições mínimas que tornam o projeto adequado para se inscrever na certificação GBC Brasil Casa®, apresentadas a seguir resumidamente.

Ser uma Construção Permanente: A certificação foi planejada para qualificar residências levando em consideração a relação das edificações com o seu entorno.

Assim, é preciso que os projetos sejam estruturas permanentes. O projeto deve ser construído em terreno existente e deve-se manter estático em toda sua vida útil. Estruturas modulares, como containers, podem ser certificadas desde que sejam projetadas para serem fixas e permanentes.

Definir limites razoáveis para o projeto: A certificação foi projetada para averiguar todos os impactos ambientais associados aos períodos de projeto e obra das construções. Criar um limite de perímetro razoável para o projeto, viabiliza que o mesmo seja analisado com precisão. O limite do projeto deve incluir todas as terras contíguas que estão associadas a ele e que oferecem suporte as atividades residenciais. Áreas de uso não residencial devem ser tratadas de forma independente e devem ser excluídas do processo de Certificação. O limite do projeto não pode ser alterado ao longo do processo de Certificação para tirar vantagem do cumprimento de determinado pré-requisito ou crédito.

Cumprir as leis ambientais: O projeto que busca a certificação deve cumprir com todas as leis e regulamentos ambientais em âmbitos, federais, estaduais e locais vigentes para a construção da edificação. Esta condição deve ser atendida a partir da data do registro do projeto e até a data em que a residência receber o certificado de cumprimento do processo. A perda de licenças ou demais atos de competência do setor Público relacionadas as leis e regulamentos descritos acima, podem gerar cancelamento da certificação conquistada.

2.2.5 – Selo Azul

Casa Azul-lançado pela Caixa Econômica Federal em junho de 2010. É um selo nacional e integra o conjunto de ações que visam adicionar diferenciais de sustentabilidade aos produtos do banco, sendo este responsável por 70% do crédito imobiliário para habitação no Brasil. A Caixa implementou uma classificação socioambiental para os projetos habitacionais que subsidia. O chamado Selo Casa Azul é a maneira que o banco encontrou de viabilizar o uso racional de recursos naturais nas construções e a melhoria da qualidade da edificação. A principal missão é reconhecer projetos que adotam soluções eficientes na construção, uso, ocupação

e manutenção dos edifícios (DADOS-SELO VERDES, 2019).

2.3 – PROCESSO DE RECICLAGEM DE POLÍMEROS

2.3.1 – Polímeros

Polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras (CALLISTER, 2012).

Com relação à classificação do ponto de vista das características tecnológicas, os polímeros são classificados em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são polímeros que podem ser fundidos e solidificados repetidas vezes, com pouca ou nenhuma variação em suas propriedades básicas, enquanto os termofixos são polímeros que, após sofrerem o processo de cura (ligações cruzadas), não podem ser fundidos ou dissolvidos sem a ocorrência da degradação de sua estrutura química (CALLISTER, 2012), como observa-se na Figura 2.2.

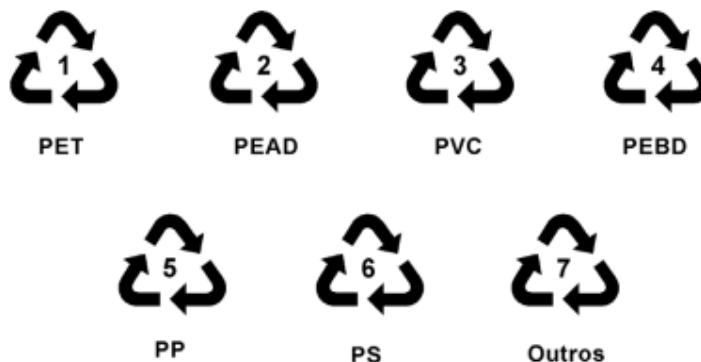


Figura2.7- Simbologia utilizada para identificação das embalagens poliméricas.
Fonte: Norma NBR 13.230 da ABNT.

2.3.2 – Bioplásticos

Os polímeros biobaseados ou bioplásticos são aqueles que apresentam estrutura química igual aos compostos derivados de petróleo. Entretanto a matéria-prima utilizada para a fabricação deste material é total ou parcialmente proveniente de fontes renováveis, sendo a base principal a biomassa advinda de resíduos agroindustriais. A biomassa oferece uma fonte de carbono originária da biosfera como uma alternativa para o carbono fossilizado (XU, 2002).

2.3.3 – Polímeros Biodegradáveis

Os polímeros biodegradáveis podem ser elaborados a partir de monômeros derivados da indústria petroquímica e de materiais renováveis. Contudo, apresentam uma estrutura que favorecem a biodegradação, que pode ocorrer de maneira abiótica por meio da exposição à luz, umidade, vento e calor. Também pode ocorrer por rotas bióticas por ação de enzimas e micro-organismos, ou ambas. Esses materiais possuem uma estrutura química que permite uma rápida assimilação do material pelo meio ambiente, diminuindo o impacto causado pelo descarte de plásticos (SHOURIJEH, 2002).

Para a construção civil, um material biodegradável só seria interessando quando aplicado em elementos que precisem ter uma vida curta, temporários, provisórios.

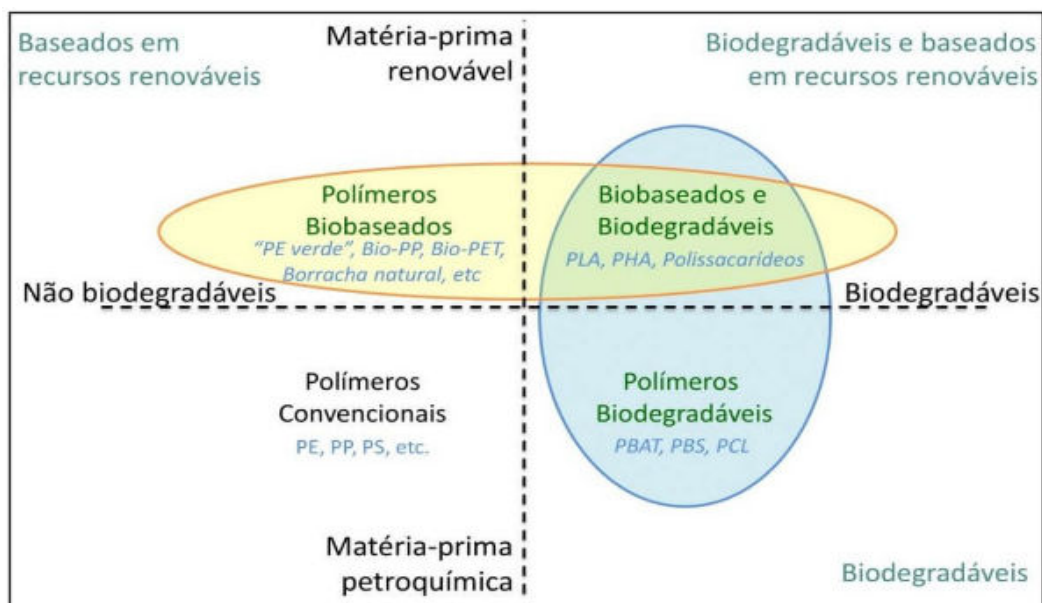


Figura 2.8 - Tipos de polímeros

2.3.4 – Tempo de Degradação dos Plásticos

O tempo de decomposição de cada material depende de uma série de fatores, tais como a natureza do material e o ambiente a que ele está exposto. Em geral, os plásticos levam de 200a 600 anos para se decompor completamente na natureza. Esse longo período de tempo se deve ao fato de que os organismos responsáveis pela decomposição não produzem enzimas capazes de quebrar as ligações químicas extremamente estáveis presentes nesses materiais. Isso se dá, pois, sua presença na natureza é relativamente recente e a adaptação e evolução desses microrganismos, para que eles sejam capazes de realizar esse processo de decomposição, pode levar milhões de anos (BASBASAN, 2022).

Para evitar o descarte direto de objetos de plásticos, busca-se alternativas de reuso e reciclagem destes, sendo embora uma iniciativa bastante positiva, ainda insuficiente. Isso porque é um processo complexo por não poder misturar tipos de plástico, também não podendo ser realizado repetidamente pela progressiva perda das propriedades mecânicas do material com o processo e, como já mencionado, processo este que também não é possível de ser realizado em todos os tipos de plásticos (BASBASAN, 2022).

2.3.5 – Polímeros Reciclados

Uma vez que a reciclagem de polímeros é um meio preferencial de reduzir os resíduos indesejados e a atividade de aterro, e recuperação de monômeros ou outros materiais de valor econômico, métodos terciários de reciclagem (química reciclagem) foram revisados criticamente, dando atenção especial, em cada caso, à base química do caminho de reciclagem específico e sua aplicabilidade potencial. Reciclagem de questões de cada um dos amplamente utilizados polímeros de commodities e poliésteres, poliamidas, poliuretanos, epóxis, poli (cloreto de vinila), poliestireno e poliolefinas.

O segmento de reciclagem de materiais vem se firmando como um importante elo da cadeia de transformação de plásticos. O fortalecimento da reciclagem não ocorre apenas no Brasil, mas encontra no País um dos mais promissores mercados, devido à intensificação dos sistemas de coleta seletiva. Contudo, para crescer, as empresas recicladoras ainda encontram dificuldades. O maior gargalo do setor continua sendo, a obtenção e a classificação de matérias-primas, a triagem dos materiais e quanto ao processamento, moagem das sucatas.

A Figura 2.9 apresenta um levantamento feito em grandes cidades brasileiras. A maior porcentagem dos termoplásticos encontrados nos resíduos sólidos urbanos são os polietilenos, os de alta densidade PEAD e os de baixa densidade PEBD, seguidos pelo PET, PVC e PP. Outros tipos de polímeros encontrados correspondem a apenas 11% do total.

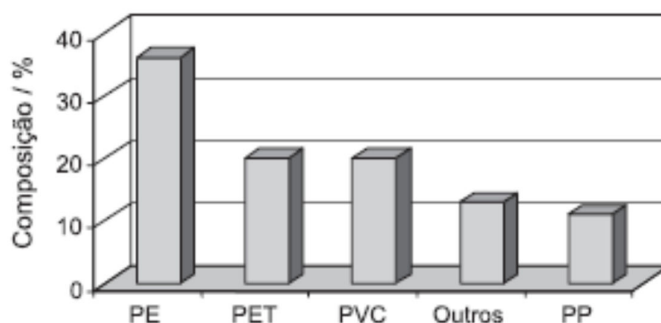


Figura 2.9- Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.
Fonte: (SPINACÉ, 2005).

2.4 – PISOS SUSTENTÁVEIS

Construir com o uso de pisos sustentáveis passou a ser mais simples com a tecnologia, que dispõe de meios que simplificam os processos de uma obra e de materiais capazes de otimizar não só a construção, como o próprio espaço em que o piso sustentável é aplicado. Seu lado positivo também está nos diversos modelos existentes que, assim como os interessantes móveis sustentáveis, permitem ao profissional ou proprietário escolher entre diferentes cores, texturas e funções (DUDEK, 2019).

Piso intertravado de concreto: ideais para áreas externas e geralmente empregados em projetos de praças, estacionamento, garagens, ciclovias e calçadas, os pisos intertravados são assim chamados por sua formatação sem rejunte. Blocos de concreto (também conhecidos por bloquetes ou pavers) são assentados sobre areia ou no solo, o que facilita a infiltração e absorção da água pluvial, evitando que escoe para córregos ou bueiros e, conseqüentemente, reduzindo os impactos causados pela chuva.

Ou *et al* (2020), pesquisaram os sistemas de piso híbrido de madeira e concreto (HTC) são adequados para a construção pré-fabricada e, portanto, uso generalizado em edifícios sustentáveis modernos. Este artigo investiga uma nova extensão para tais sistemas por introduzindo um núcleo corrugado entre a madeira tensionada e as camadas de concreto compressivo. Este novo andar 'HTCC' supõe-se que o sistema de painel tenha uma capacidade de flexão específica de peso aumentada em relação aos sistemas HTC, por reduzindo o volume de concreto abaixo do eixo neutro do painel sem diminuir a capacidade de flexão.

Navaratam *et al.* (2021) apresentaram um conceito de sistema de piso para construção de edifícios modulares sustentáveis. A validade do modelo foi assegurada comparando os resultados com resultados experimentais relatados na literatura anterior.

É possível customizar o EcoPiso, além de poder escolher as cores. O EcoPiso pode ter sua superfície completamente customizada, utilizando materiais como bambu

podendo até ter LED, que se acendem com a geração de energia. Isso torna cada EcoPiso específico para cada ação e lugar.

2.5– FIBRAS

Entre os recursos naturais que encontraram uma ampla gama de aplicações em diversos setores da engenharia, principalmente na construção setor, são os materiais lignocelulósicos. Estes materiais podem ser descritos como naturais, abundantes e recurso renovável, geralmente derivado de fibras de origem vegetal.

Esses materiais consistem principalmente em três componentes químicos: celulose, hemicelulose e lignina, que são responsáveis pelo comportamento mecânico e estrutural da planta, dando-lhe boa resistência, rigidez e durabilidade.

Atualmente, o uso de fibras vegetais em vários ramos da moderna indústria é uma área de interesse para pesquisadores focados em promover desenvolvimento de materiais não convencionais.

A ampla disponibilidade, rápida renovação, economia, baixo peso e alta especificidade propriedades das fibras vegetais, bem como seu caráter biodegradável e sua alta resistência à abrasão, permitem considerar ser uma alternativa razoável quando comparada com as fibras tradicionalmente utilizado como fase dispersa na fabricação de materiais compostos convencionais.

2.5.1 – O Uso de Fibras Naturais em Compósitos

É crescente o interesse no estudo e na utilização de fibras naturais em compósitos de matriz termoplástica. A possibilidade de reciclagem e as propriedades mecânicas favoráveis estimulam a aplicação industrial. Na última década, uma grande variedade de produtos entrou no mercado. Por exemplo, nos Estados Unidos se encontram em fase de comercialização plena, pisos de termoplástico com madeira.

São muitas as vantagens da utilização das fibras naturais em compósitos poliméricos:

- a) a variedade e característica de ser fonte renovável;
- b) biodegradáveis;
- c) não serem abrasivas e
- d) é de custos relativamente baixos.

Geram compósitos de baixa densidade e excelente flexibilidade no processamento. Em geral, as fibras naturais quando combinadas adequadamente com polímeros, proporcionam, aos materiais, boas propriedades mecânicas específicas, térmicas e acústicas.

Apesar da grande atratividade, nos compósitos reforçados com fibras naturais podem ocorrer baixa molhabilidade da fibra, que gera incompatibilidade com a matriz polimérica e ainda alta absorção de umidade através das fibras. Essas desvantagens podem ser minimizadas no compósito pelo uso de quantidade e comprimento adequados, ou pela orientação favorável, ou ainda pela modificação da fibra. Esses tratamentos melhoraram a adesão fibra-matriz.

2.5.2 – Fibras de Juta e Malva

Dos santos (2022), avaliou, por meio de uma abordagem de avaliação de ciclo de vida, o desempenho ambiental de fibras de juta e malva e um material de construção - um compósito de cimento, que foi produzido com essas fibras sem processamento industrial e na forma de um tecido. A viabilidade técnica de compósitos cimentícios reforçados com tais fibras foi atestada em outras pesquisas. Foi realizado um conjunto de entrevistas com diversos sujeitos envolvidos na cadeia produtiva das fibras de juta e malva cultivadas na região norte do Brasil. Os resultados obtidos por unidade de processo, no que diz respeito à carga ambiental do compósito, a produção de matérias-primas cimentícias e do superplastificante são os contribuintes dominantes em todas as avaliações. Se as fibras fossem utilizadas sem nenhum processamento, sendo apenas transportadas de uma cidade próxima a Manaus, a redução dos impactos relacionados ao reforço do compósito seria superior a 95%. Esses resultados confirmaram a importância do uso de matérias-primas locais. Este trabalho traz uma importante contribuição no campo da bioeconomia no contexto da

Amazônia brasileira, pois destaca o potencial ambiental de duas fibras vegetais, que podem estimular o desenvolvimento local e social da região.

2.5.3 – Fibras de açaí

A utilização da fibra natural do açaí em compósitos cimentícios é viável, especialmente para aplicações em argamassas de revestimento de paredes e reforços de pequenos pontos estruturais. No entanto, a fibra deve passar por um tratamento com solução de NaOH (Hidróxido de Sódio) devido à perda de propriedades e durabilidade encontrada em seu uso sem tratamento. A perda dessas propriedades pode prejudicar seu uso e aplicação comercial. Utilização de altas proporções de fibras naturais em compósitos cimentícios pode ser prejudicial para as propriedades de embalagem e enchimento. O aumento de valores nominais em determinadas propriedades se justifica no estudo até adição de 5,0%. A adição de 3,0% de fibras naturais tratadas com NaOH nas argamassas é recomendado para equilibrar as propriedades tecnológicas e de durabilidade. Os valores nominais devem estar dentro dos relatados na literatura para a aplicação desejada (AZEVEDO, 2021).

2.5.4 – Fibra de Coco de Babaçu

O babaçu é da família das Palmáceas, cujo nome científico é *Orbignya Speciosa*. A palmeira representa 80% da vegetação do Município de Pedreiras, Estado do Maranhão. É típica da floresta equatorial e pode chegar a 20 metros de altura. Começa a dar frutos, em cachos, a partir do oitavo ano. O babaçu é uma fonte de matéria-prima da indústria cosmética, usado na produção de xampus, sabonetes, batons e cremes. Também é importante na indústria de alimentos, em margarinas e óleos de cozinhar. Da casca é produzido carvão vegetal, para uso energético. As folhas servem para cobrir as casas. Do babaçu é extraído substâncias para uma farinha achocolatada que é complemento alimentar e fitoterápico para inflamações de estômago. A torta, que sobra da prensagem da amêndoa, vira ração animal.

Pesquisas para a elaboração de compósitos, com aproveitamento de materiais regionais, estão sendo desenvolvidas pelo grupo de Eco-Compósitos (LABEM)

/UFPA. A preparação de compósitos a partir de materiais reciclados com fibras vegetais regionais constitui-se em alternativas para a conscientização ambiental, valorização de recursos regionais e a agregação de valor econômico, por parte do grupo de pesquisa. A utilização de uma metodologia simples e eficaz justifica o interesse do grupo em minimizar os custos na produção de compósitos.

2.6 – BLOCOS SUSTENTÁVEIS

Blocos e tijolos ecológico é um modelo de tijolo feito a partir da mistura da água com solo ou outros resíduos naturais e recicláveis que não passa pelo processo de queima, o que reduz a emissão de gases poluentes na atmosfera.

Na busca por novos conceitos e soluções aplicadas a sustentabilidade na construção civil, procurou-se reduzir o consumo de recursos naturais através da reciclagem de resíduos, introduzindo papéis descartados em lixos urbanos como alternativas de emprego na composição de tijolos. Ocasionalmente a redução de custos e proporcionando moradias viáveis de baixo consumo de recursos naturais e, assim, impede o processo de queima do papel descartável nos lixos urbanos, enquadrando-se no contexto da sustentabilidade na construção civil evitando a degradação do meio ambiente e do déficit habitacional.

A procura por elucidações para aperfeiçoamento de desempenho relacionado a baixa densidades, redução de condutividade térmica e aumento de resistência à compressão, proporciona interesse em projetos economicamente sustentáveis. Desta forma, produz blocos sem queimas, obtendo prestígio entre outras manufaturas de tijolos, visando baixa energia. A utilização de resíduos sólidos em tijolos promove obtenção de peças de boa qualidade com redução de temperatura no processo de queima, reduzindo os custos de energia na produção de maneira sustentável.

Com a utilização de material descartado em aterros sanitários e para redução de argila, foi proposto uso de resíduos de azeitona na produção de argila para manufatura de tijolos cerâmicos, obtendo benefícios ambientais usando materiais

descartados e reduzindo a porcentagem de argila. Portanto, alcançando economia de energia e emissões de CO₂ durante o processo de queima.

2.6.1 – Blocos com Fibras Termo Acústicas

O conforto acústico em ambientes depende dos níveis de pressão sonora, reverberação, distribuição de energia sonora nas faixas de frequência, espalhamento uniforme do som em um determinado espaço, ausência de tonais audíveis (zumbidos, assobios) e a inexistência de níveis pulsações. Essa denominação consiste na preservação da saúde psico-fisiológica e tranquilidade emocional de um indivíduo em um determinado ambiente, caracterizado pela ausência de sons indesejados e incômodos. No Brasil, os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em diversos ambientes são estabelecidos por meio da NBR 10152 (ABNT, 2017).

Com base em princípios físicos bem estabelecidos, a estrutura final do material, sua elasticidade e características porosas estão em o coração das propriedades acústicas e térmicas. A densidade do material é a consideração primordial de reflexão acústica e uma ligação íntima de as partículas serão assim necessárias para materiais de barreira de ruído. Uma estrutura de poros abertos em que os poros estão interconectados é a chave à absorção de ruído, pois tal estrutura aumenta a resistividade do fluxo de ar e conseqüentemente a dissipação da energia do ruído. Um poro fechado estrutura, na qual o gás está preso, é o principal requisito para o calor materiais isolantes. Para isolamento acústico de impacto, o aspecto estrutural é a capacidade de dissipar a energia vibracional do impacto, mais adequadamente alcançado quando o material receptor tem um baixo módulo de elasticidade como é o caso dos elastômeros residuais usado neste estudo. Nesta pesquisa, o casamento da acústica e/ou propriedades de isolamento térmico derivam da baixa condutividade térmica e elasticidade das partículas e a capacidade do processo proposto para organizá-los em estruturas de poros abertos ou de poros fechados (BENKREIRA, 2011).

2.7 – COBERTURAS ECOLÓGICAS

As telhas feitas de resíduos de polímeros reciclados, apresentam diversas vantagens, entre elas: não apresentam alta porosidade evitando assim o acúmulo de umidade e mofo, e por isso não há necessidade de limpeza constante dos telhados, maior durabilidade, formas diferenciadas, e o diferencial ambiental. Porém, uma desvantagem desse tipo de telha, em algumas metodologias de fabricação, é que o seu preço é bem mais elevado que a telha convencional de barro, mas associado ao fato de que ela é muito mais leve e exige uma estrutura de telhado menos robusta, a cobertura completa acaba sendo mais econômica. Sendo assim, a produção deste tipo de telha, além de estabelecer uma destinação para os resíduos, tem também o benefício da cor na cobertura, acarretando em uma diminuição da temperatura interna das edificações, especialmente nos dias de maior incidência de energia solar (TESKE et al., 2015).

Para a região amazônica o conforto térmico e a resistência às intempéries é muito significativo.

Embora a natureza composta, papelão/polietileno/alumínio, das embalagens seja essencial para a proteção de produtos perecíveis por longa vida, por outro lado, essa mesma natureza tem dificultado a reciclagem de embalagens pós-consumo por muitos anos, uma vez que os processos de reciclagem projetado para materiais compósitos multicamadas exigiu o desenvolvimento de tecnologias especiais para separar as camadas de que são feitos. A combinação de incentivos à coleta local com o desenvolvimento de novas tecnologias para separar as fibras da porção de alumínio/polietileno das embalagens originais e produzir subprodutos úteis pode tornar a reciclagem desse tipo de embalagem mais econômica. Aumentar a taxa de reciclagem é essencial para minimizar o descarte de resíduos em aterros sanitários. Todas as embalagens devem ser adequadas para reciclagem. Novos desenvolvimentos incluem a identificação de tecnologias de reciclagem apropriadas (MOURAD, 2008).

2.8 – ROTOMOLDAGEM

Rotomoldagem também conhecido como moldagem rotacional ou fundição rotacional é denominado pelo processo de moldagem de termoplásticos. Portanto, o processo de produção peças é indicado para empresas com baixo custo de investimento. Os sistemas com polímeros em forma de líquidos podem otimizar o processo de rotomoldagem, devido o curto espaço de tempo de aquecimento e resfriamento (OGILA et al., 2017).

A moldagem rotacional precípua na inserção de termoplástico em geral na forma de pó ou granulado. Neste caso, o material é instruído a movimentação na parte interna do molde. Posteriormente, ocorre o aquecimento e movimentação dinâmica simultaneamente em torno de dois eixos principais, também conhecido de rotação biaxial e o polímero inserido no molde agarra formando uma camada na superfície interna. A rotação continua durante a fase de resfriamento, de modo que o plástico retém a forma desejada à medida que se solidifica (CRAWFORD; GIBSON, 2006).

O processo de rotomoldagem, tem quatro passos no ciclo de processamento: a) carregamento, b) aquecimento e rotação, c) arrefecimento do molde e d) desmolde da peça. O carregamento do molde ocorre a alimentação de matéria-prima, geralmente em forma de pó ou micronizada, no interior do molde metálico.

2.9 – DESEMPENHO DE MATERIAIS RECICLADOS

A diminuição do uso de novos resíduos e matérias-primas para a produção do plástico é uma das grandes vantagens da reciclagem. Ao substituir materiais virgens em eletrodomésticos, móveis, sacolas, peças de carros, conduítes e sapatos, por exemplo, haverá uma democratização no consumo, sem falar no auxílio ao meio ambiente.

Além de terem uma sobrevida comparável ao produto virgem, os reciclados são flexíveis, resistentes e contam com baixo preço e peso. Outro ponto constatado por

pesquisas está na melhoria das propriedades mecânicas, pois reciclados também são resistentes aos impactos, podendo ser reaproveitados em peças automotivas, como em para-choques, por exemplo.

Antigamente, os eletrodomésticos utilizavam como matérias-primas vidro, metal e madeira, levando ao mercado consumidor produtos pesados e caríssimos. Com o baixo custo da produção do plástico, principalmente tendo a reciclagem como reaproveitadora do que continuará entre nós, é possível criar novas molduras e possibilidades, fazendo com que a sociedade faça um uso consciente de um material indispensável para a sobrevivência do atual padrão de consumo.

Dessa maneira, os materiais virgens acabam tendo um destino bem mais inteligente em comparação ao que é feito em sua grande maioria na atualidade: indo para o solo ou mares. Afinal, somente no Brasil, 25 mil toneladas de embalagens vão parar, diariamente, nos aterros, sendo um grande problema para os administradores públicos.

Fora isso, existem ainda os descartes feitos pela indústria, que, muitas vezes, ainda não possuem setores voltados exclusivamente à reciclagem.

Em uma comparação entre a diminuição de resíduos urbanos e a economia de recursos naturais, podemos afirmar que a reciclagem economiza petróleo – matéria-prima do plástico –, energia (no caso do alumínio), diminui o abate de árvores e reduz o consumo de água (no caso do papel) e, ainda, evita a utilização excessiva de fibras virgens na indústria têxtil.

Assim, a reciclagem traz resultados surpreendentes para o desenvolvimento social, ambiental e econômico da sociedade. Por exemplo, a reciclagem de uma tonelada de plástico permite evitar o uso de 130 kg de petróleo, quantidade que seria necessária para a produção do mesmo material em seu estado virgem. Reciclando uma lata de alumínio, é possível economizar energia suficiente para manter uma televisão ligada ao longo de três horas ininterruptas, ou seja, trata-se de uma iniciativa que precisa crescer urgentemente no país e no mundo.

2.9.1 –Especificações de Desempenho

A Norma ABNT NBR 15575 da ABNT conceitua desempenho como o conjunto de requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para a edificação ou seus sistemas.

As especificações de desempenho são uma expressão das funções requeridas da edificação ou de seus sistemas e que correspondem a um uso claramente definido, estas especificações referem-se a edificações habitacionais.

2.9.2 – As Diferentes Funções dos Reciclados

Os materiais reciclados estão por todos os lados da economia brasileira. Neste exato momento, você pode estar sentado em uma cadeira feita com plástico reciclado, enquanto telhas são fabricadas com embalagens longa vida, as chamadas Tetra Pak. A qualidade das telhas conquista cada vez mais o mercado consumidor e se apresenta tão segura quanto as tradicionais, aliás, possuem uma resistência maior. Da borra de latões de combustíveis é possível produzir matéria-prima voltada à produção do aço. Lixos eletrônicos de TVs, microcomputadores, telefones e impressoras se transformam em alumínio, níquel e outros metais ferrosos e não ferrosos redirecionados à cadeia produtiva como matéria-prima para novos produtos. Fios de poliéster e fibras de coco são produzidos por muitas empresas por meio da reciclagem de garrafas PET, látex biodegradável ou tecido de algodão orgânico.

De fato, os resíduos da reciclagem podem substituir até mesmo 50% da areia na produção do cimento. Estudos mostram que a porcentagem não influencia na diminuição da resistência, compressão ou flexão, sendo uma alternativa viável para o desenvolvimento sustentável, evitando a constante exploração das cavas.

Diante dos exemplos apresentados, o desempenho de materiais reciclados é tão bom quanto o dos materiais virgens, ou seja, trata-se de uma necessidade para a população combater os males da degradação ambiental, além de fomentar a indústria na geração de emprego e renda.

2.9.3 – Dificuldades Enfrentadas pelo Mercado de Reciclados

Mesmo com todas as vantagens e proximidade do desempenho dos materiais reciclados com os de resina virgem, a sociedade brasileira ainda não acordou para abraçar de vez a consciência ambiental.

Primeiramente, o governo engatinha nas políticas públicas de incentivo específico ao setor. Apesar da existência do Plano Nacional dos Resíduos Sólidos, poucos avanços aconteceram.

Podemos citar a emenda à Constituição, que prevê isenção de impostos para produtos feitos por meio da reciclagem, exceto no caso de importações, mas que ainda precisa ser aprovada no Senado e Câmara dos Deputados.

Além disso, a maior parte dos mais de 5.000 municípios existentes no país não realizam a coleta seletiva e a própria população trata o tema com indiferença. Assim, mais de 3 milhões de toneladas de plástico deixam de ser reciclados por ano no Brasil, trazendo um impacto altamente negativo ao meio ambiente.

Em dados estatísticos, somente 3% do lixo vai para a reciclagem, ou seja, a iniciativa ainda não é uma prioridade dos administradores públicos, e nem dos privados, e necessita de uma ampla mudança para fazer com que nossa sociedade aproveite com mais eficiência as inúmeras possibilidades dos materiais reciclados.

2.10 – A TECNOLOGIA PODE SER UMA ALIADA

Diante dos desafios, a tecnologia é uma grande aliada para melhorar o índice de reciclagem não só no Brasil como, também, no mundo.

Seja na indústria, ou mesmo na coleta dos materiais nas casas e ruas, os equipamentos contribuem para melhorar a consciência ambiental. Podemos citar a coleta seletiva nos municípios por meio de lixeira com cores diferenciadas, o auxílio de grandes empresas para a compra de equipamentos de ponta para cooperativas de catadores, a automação das empresas de reciclagem e

até mesmo scanners ópticos que fotografam pontos específicos nas esteiras e assopram o que deve ser descartado.

Há ainda painéis solares e turbinas eólicas que contribuem com a redução no consumo de energia elétrica nos custos da operação. Assim, o desempenho de materiais reciclados poderá aumentar ainda mais, podendo chegar com mais qualidade e preços acessíveis ao mercado consumidor, ou seja, ganha a indústria, o cidadão, a economia e o meio ambiente.

2.11 – A MOLDAGEM POR COMPRESSÃO NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS

Os métodos convencionais de moldagem por extrusão e injeção, requerem equipamentos de alto custo e tendem a degradar as fibras naturais durante o processamento. Além disso, os problemas encontrados como o aumento da viscosidade do fundido, que dificulta o fluxo do polímero, a orientação e distribuição homogênea das fibras e, em certos casos, a molhabilidade das fibras, causando fraca adesão interfacial entre os componentes do compósito.

Pelo processo de moldagem por compressão a quente, o polímero fundido é pressionado através do material de reforço, ocorrendo a percolação e o escoamento da matriz ao longo do plano de reforço, o cisalhamento intralaminar ao longo da direção das fibras e o deslizamento interlaminar das camadas, em diferentes orientações. As etapas básicas do processo de moldagem por compressão, para termoplásticos segundo a Norma Brasileira (NBR) 7143 são: a) aumento da temperatura do material a um nível no qual a aplicação de pressão possa causar o fluxo suficiente do material sem ocorrer decomposição térmica; b) aplicação de pressão ao material, fazendo-o fluir e assumir a forma do molde no qual está contido; c) resfriamento do material até uma temperatura na qual a peça possa ser retirada do molde, sem haver deformação.

A temperatura deve ser medida nas partes do molde com o auxílio de termômetros ou de outros recursos adequados, em pontos do molde próximos à superfície dos moldes e/ou em pontos, nas placas, perto das suas superfícies.

A escolha do tipo de molde, sua forma e construções efetivas, depende do material a ser examinado, das dimensões do corpo de prova a ser moldado e que permita uma confecção econômica e sólida, pelo método mais adequado e pelas facilidades disponíveis.

Os tipos adequados de moldes segundo a NBR 7143 são aquecidos indiretamente por meio de chapas tais como: a) três placas, o mais simples e adequado para muitos termoplásticos; b) duas placas, o centro e a placa inferior são combinados; c) variante do molde de duas placas, a placa superior tem um ressalto que se ajusta dentro da cavidade da placa inferior permitindo a moldagem de materiais de maior fator volumétrico.

Um problema comum que pode ocorrer na fabricação de compósitos poliméricos consiste na formação de defeitos tais como regiões ricas em polímero, desalinhamento das fibras, principalmente nas regiões de borda desses materiais, além do aparecimento de vazios e trincas no seu interior e na superfície de seus componentes. Esses vazios são formados devido à natureza da matriz polimérica utilizada ou por eventuais problemas durante o processamento do compósito, tais como: a) umidade excessiva; b) controle inadequado das taxas de aquecimento e resfriamento; c) existência de ar entre as camadas de reforço e da matriz; d) impurezas existentes na matriz polimérica.

CAPÍTULO 3 – MATERIAS E MÉTODOS

Esta tese priorizou focar nas etapas de piso, paredes e cobertura (telhas), porém, com estes mesmos materiais, fez-se alguns elementos vazados para a passagem dos dutos das instalações elétricas e hidráulicas, detalhes necessários que devem ser colocados nos projetos desde o início. Com isso, há uma facilidade maior de instalação da tubulação durante a evolução do painel. A Figura 3.1 apresenta o fluxograma das etapas da residência sustentável abordada nesta tese:

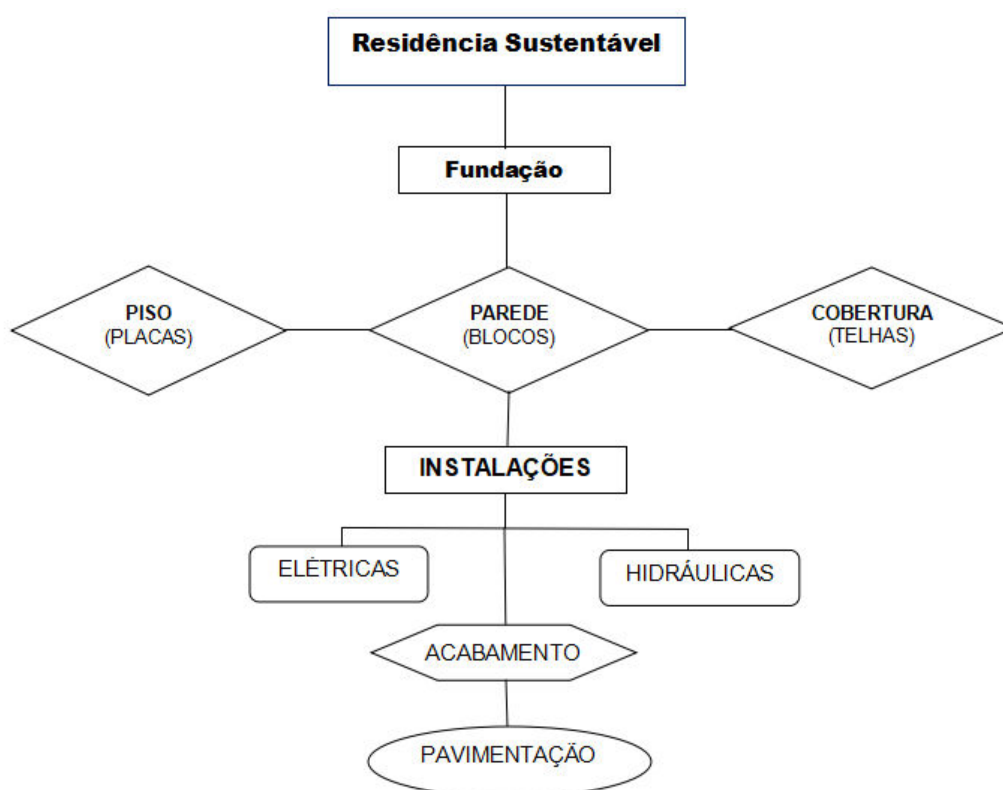


Figura 3.1- Fluxograma das etapas construtivas de uma residência sustentável.

Neste fluxograma verifica-se as etapas da construção onde podemos aplicar a maioria dos materiais produzidos neste trabalho, principalmente nas etapas de piso, parede e cobertura.

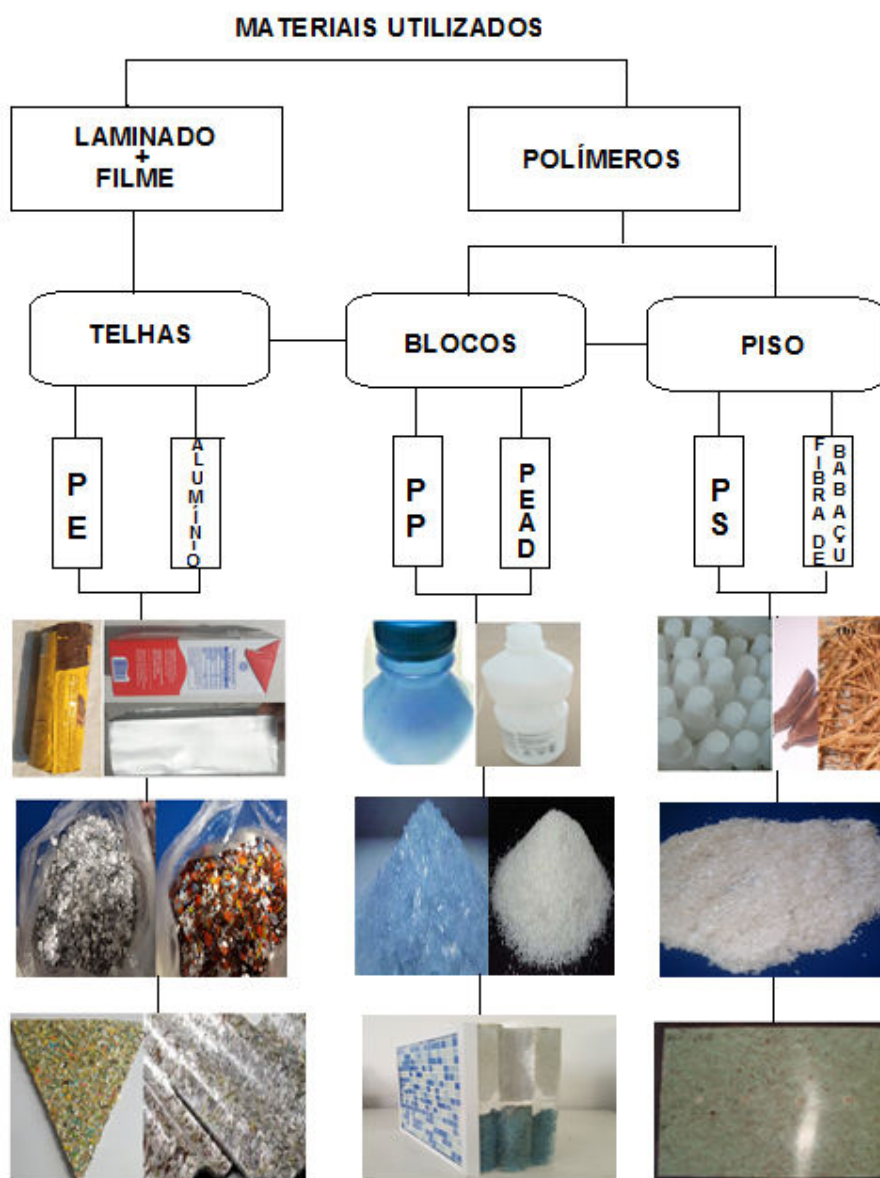


Figura 3.2– Ciclo de Aproveitamento de Materiais Recicláveis

3.1 – BLOCOS

3.1.1 – Materiais dos Blocos

-POLIPROPILENO

Polipropileno pós-consumo na forma recipiente de garrafa proveniente de água mineral na cor azul, oriundos de doações e coleta seletiva no Laboratório de Ecocompósito da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA, onde passou por um

moinho de facas até chegar em forma de flocos.

-POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE

Polietileno de alta densidade pós-consumo na forma de garrafa de embalagem proveniente de álcool na cor branca, oriundas de doações e coleta seletiva no Laboratório de Eco-compósito da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA, onde passou por dois moinhos de facas até chegar em forma de pó.

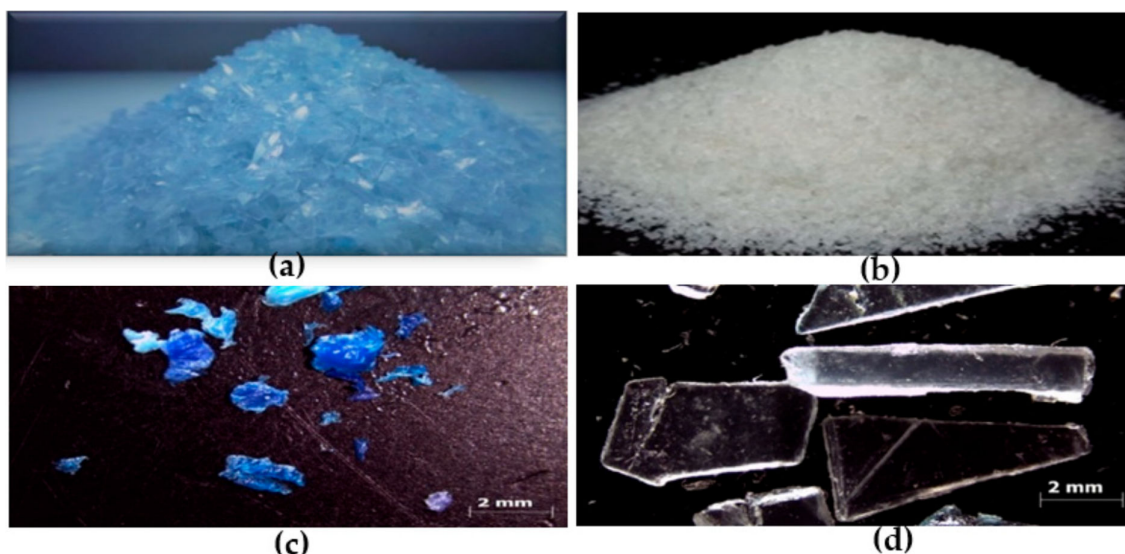


Figura 3.3 - Polímeros utilizados: (a,c) polipropileno (PP) e (b,d) polietileno de alta densidade (HDPE) após cortado por faca.

3.1.2 – Ensaios Experimentais

A revalorização das poliolefinas de PP, será feita através de garrafas depolipropileno pós-consumo que foram coletados pelo grupo de pesquisa Eco Compósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Realizou-se uma limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos. Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas serão submetidas a um Moinho de facas

-CONFEÇÃO DO MOLDE DE ALUMÍNIO

Foi usada uma chapa de alumínio de 1,5 mm para confecção do molde, após a confirmação de mediadas foi possível confecciona-lo sem as cavidades macho e fêmea, para vedação dos blocos foi utilizado os mesmos parafusos usados no molde de aço inox para facilitar abertura em respectivo ciclo de processamento demoldagem rotacional (carregamento, aquecimento, resfriamento e desmoldagem).

-ROTOMOLDAGEM

Uma máquina de moldagem rotacional em escala de laboratório foi utilizada para o processamento dos blocos, equipado para adaptação de moldes conforme necessidade do tamanho da peça. As velocidades derotação biaxial podem variar independentemente de 1 a 20 rpm nos dois eixos e foi utilizada em ambas poliolefinas 6 rpm para rotação e 9 rpm translação. O forno é aquecido por resistências elétricas, o molde é colocado no forno com aquecimento de acordo com a temperatura de fusão do polímero inserido. O tempo total de processamento foi de 50 minutos deaquecimentos e 30 minutos de resfriamento. Após o ciclo de aquecimento, o resfriamento é iniciadocom a rotação biaxial ainda em funcionamento até a cair para 60 °C e a peça ser desmoldada, como verificado na Figura 3.4.



Figura 3.4 - Máquina de rotomoldagem a) máquina de rotomoldagem b) forno.
Fonte: Mendes e Ferreira (2020).

- MICROSCOPIA ÓPTICA

Foi usado um microscópico óptico Axiocam 105 color do fabricante ZEISS ilustrado na Figura para colher as imagens dos polímeros pós consumo revalorizados de PP e PEAD usados na rotomoldagem dos blocos, onde foi utilizado o software ImagJ para calcular o tamanho médio do polímero após a revalorização, devido conter formatos e tamanhos diferentes. Podendo apreciar este método para observação de superfície de camada que contém grãos de formato irregular, proporcionando calcular o tamanho médio usando o ImagJ.

- Densidade-Método do Picnômetro

As amostras foram obtidas de poliolefinas pós-consumo revalorizadas e suas análises foram conduzidas no Laboratório de Eco-compósito da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA. O ensaio foi utilizado para determinar a densidade do sólido: Para a medição da densidade foi utilizado um picnômetro de 25 ml, previamente limpo e seco; pesar a amostra em uma balança (m_1) referente a massa da amostra sólida; medir a temperatura da água; pesar o picnômetro cheio de água destilada e com a sua tampa (m_2) referente a massa do picnômetro + água destilada; retirar a tampa e colocar a amostra dentro do picnômetro, onde consequentemente a água vai transbordar e precisará completar o nível de água até a borda superior do picnômetro, tampar o picnômetro e pesá-lo assim carregado (m_3) referente massa do picnômetro + amostra + água destilada; calcular a massa de água deslocada pela amostra (m) é dada pela equação (1); calcular o volume (V) da amostra é igual ao volume da água deslocada onde é dado na equação (2); calcular a densidade do sólido onde é dado na equação (3), podemos observar os resultados para as densidades na Tabela 01.

$$m = (m_1 + m_2) - m_3 \quad (01)$$

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{água}}} \quad (02)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (03)$$

Tabela 3.1 Resultado final para as Densidades

Amostras	P (g/l)
PP	0,9954
PEAD	0,9976

- Difração de raio – X

A análise de Difração de Raios – X (DRX) foi realizada nas amostras de PEAD e PP no Laboratório de Ecocompósito do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPA através de um difratômetro modelo D2 Phaser – Bruker em temperatura ambiente, utilizando radiação Cu ($K\alpha=1,540598 \text{ \AA}$), a fonte de raio – x foi ajustada a uma tensão de 30 kV e uma corrente 10 mA, seu intervalo de varredura angular (2θ)

= 5-60° com filtro $K\beta$ de Ni. A coleta dos difratogramas foi realizada com passo angular de 0,02° e tempo por passo 0,3s.

3.1.3 – Requisitos de Desempenho de acordo com a Norma ABNT NBR 15575

São as condições a que os sistemas, subsistemas e componentes devem atender, características que devem apresentar, para fazer frente às condições de exposição a que estarão sujeitos ao longo de sua vida útil como decorrência do local onde serão aplicados (condições de exposição) e do uso que se fará deles. As normas internacionais ISO estabeleceram os requisitos que devem ser atendidos por produtos que compõem os subsistemas construtivos de uma edificação como estrutura, vedações verticais, pisos, coberturas, etc. Cada país ao desenvolver suas normas, baseadas em metodologia de desempenho, utiliza-se dos requisitos estabelecidos na norma ISO 6241, adaptando-os à sua realidade.

Critérios de desempenho: são os parâmetros que estabelecem os níveis de desempenho aos quais cada requisito deve atender, para fazer frente às condições de exposição. Assim, por exemplo, um critério de desempenho acústico definirá o isolamento acústico, medido em dB – decibel, que uma parede deverá proporcionar,

dependendo do nível de ruído a que está exposta pelo ambiente contíguo e do tipo de atividade a ser desenvolvida no ambiente interno, que esta parede delimita. Assim, por exemplo, o isolamento acústico requerido de uma parede de geminação, onde há dormitório em um dos lados, será diferente do critério para uma parede onde não há dormitório em qualquer dos lados.

3.2 – PISOS

Os principais critérios de seleção dos materiais e dos métodos a serem utilizados foram o de confeccionar compósitos de fácil processabilidade, de baixo custo, com boas propriedades mecânicas e ambientalmente corretas. O fluxograma abaixo detalha as etapas do procedimento realizado.

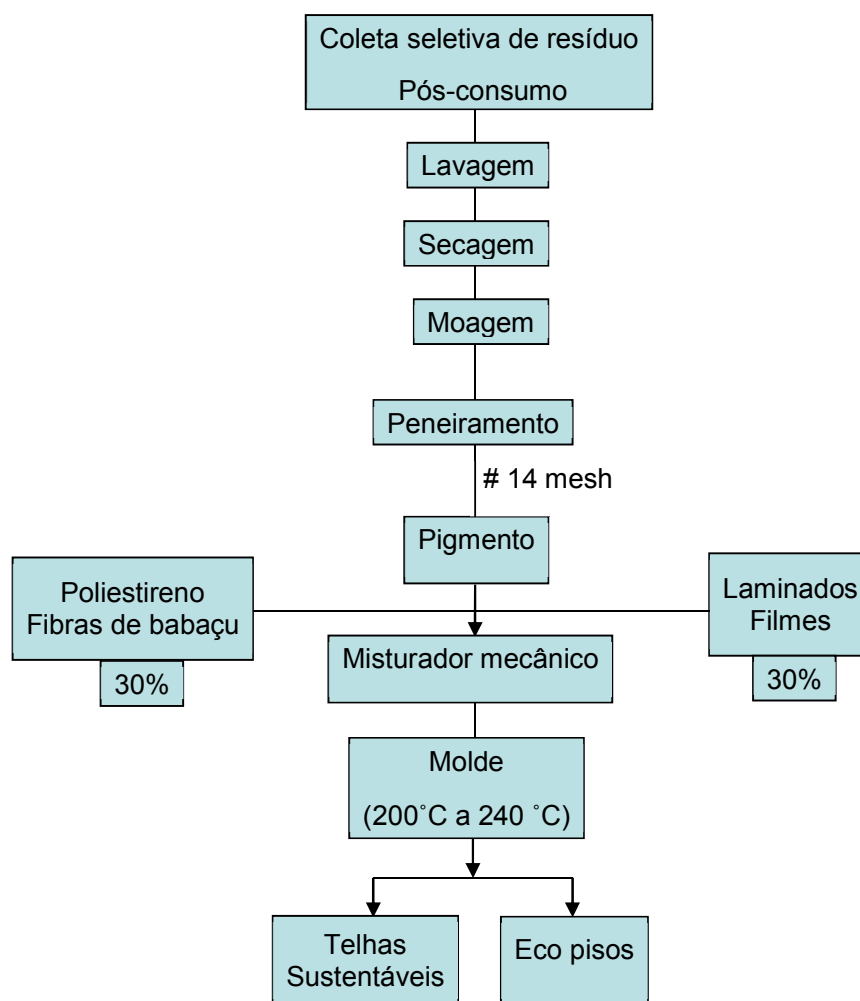


Figura 3.5- Fluxograma do procedimento realizado.
Para a confecção das peças moldadas foram usados copos descartáveis

(resíduos pós-consumos), fibra de coco de babaçu (resíduo agroindustrial) e um pigmento à base de ftalocianina.

3.2.1 – Matriz polimérica

Poliestireno (PS) como o material em maior quantidade para a reciclagem mecânica e confecção do compósito, identificação essa feita através da simbologia contida no produto.

3.2.2 – Carga Fibrosa

Como carga para a matriz reciclada, foi escolhida uma fibra natural, a fibra extraída de coco de babaçu, um rejeito da extração de óleo de babaçu.

Para complementar o trabalho de confecção de eco-pisos, a fibra de coco de babaçu foi doada pelo Laboratório de Química/UFPA.

Foi feita uma análise preliminar da fibra natural no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) LEO modelo 1450 VP, avaliando o diâmetro médio das fibras, na faixa de 500µm e visualizando o efeito do corte manual para uso na conformação.

3.2.3 – Pigmento

Os pigmentos de ftalocianina apresentam massa específica 1,42 g/cm³, excelentes propriedades de solidez à luz, a intempéries e agentes químicos e não têm tendência a flocular e cristalizar em presença de solventes aromáticos. São utilizados em pisos destinados a áreas externa e interna, em proporções de até 5% em peso. São aditivos comuns na indústria de polímeros e adotados para traçar linha de fluxo para controle de tempo de residência em processamento.

A metodologia envolve quatro etapas. Na primeira etapa foi realizada a reciclagem de resíduo pós-consumo; na segunda foi projetado e confeccionado o sistema de moldagem por compressão com monitoramento térmico acoplado; a terceira etapa foi a de produção dos compósitos, desde a concepção até a conformação, e na última etapa foram realizadas as caracterizações física e mecânica.

Após a coleta dos copos de PS, foram realizados os tratamentos básicos de reciclagem mecânica, como observamos na Figura 3.6.

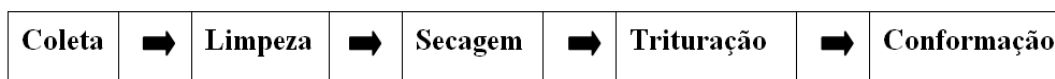


Figura 3.6 Etapas básicas do processo de reciclagem mecânica.

A limpeza manual dos resíduos coletados consistiu na retirada de pequenas impurezas e na lavagem em água corrente à pressão e temperatura ambiente.

A secagem foi realizada em condições normais, por exposição ao ar livre dos copos descartáveis, com o objetivo de retirada da umidade residual do polímero.

Os copos de PS foram triturados no moinho de facas rotativos modelo NFA – 1533 marca RONE, para obter fragmentos dos descartes que foram classificados por fração granulométrica. Para a conformação mecânica foi utilizada a moldagem por compressão, realizada no aparato experimental descrito a seguir.

O procedimento experimental foi constituído de moldagem por compressão a quente, método este adotado pela simplicidade de execução em laboratório e em pequena escala de produção. Para a produção das placas, foram utilizados uma prensa hidráulica e um molde em aço inox, contendo furos para inserir termopares. O molde foi acondicionado num forno confeccionado para o sistema de aquecimento, contendo resistências elétricas tubulares. Foi projetada uma caixa isolante de madeira para o isolamento térmico inferior do molde. O sistema de resfriamento foi constituído em tubulação de cobre e tendo a água como líquido de arrefecimento.

O molde foi confeccionado do tipo moldura de quatro placas, a placa superior foi soldada a placa de encaixe (macho), com quatro furos alinhados; a placa inferior foi soldada com a moldura. O emprego do aço inox e solda inox, justificam-se pelas propriedades exigidas de resistência à corrosão e boa condutibilidade térmica.

Para a aferição dos sensores de temperatura, como mostrado na figura 3.7, foi utilizado um banho termostático, composto por um reservatório de paredes isoladas, com água no interior. A temperatura da água é regulada por um controlador PID, que a mantém constante. Um pequeno reservatório, colocado no interior desse banho, serve de local para a disposição dos termopares a aferir. O padrão utilizado foi um termômetro de coluna de vidro com faixa de $0,1^\circ$ de precisão.



Figura 3.7- Banho termostático para aferição de termopares.

Para o isolamento térmico inferior do molde foi projetada uma caixa isolante contendo camadas de madeira, isopor, areia, manta de vidro, aço comum, gesso e manta de poliuretano.

3.2.4 – Confeção dos Compósitos

Foram utilizadas quatro formulações em peso para confecção dos eco-pisos: 10% de fibra, 89% de PS e 1% de pigmento; 20% de fibra, 79% de PS e 1% pigmento; 30% de fibra, 69% de PS e 1% de pigmento; também foram confeccionadas placas de PS reciclado.

A conformação de cada placa contendo essas misturas foi realizada em três etapas de processamento: na primeira, o PS triturado com fibra picotada e pigmento, com seus referidos pesos, misturados manualmente foram postos no centro do molde para a conformação; na segunda, foram trituradas as placas da primeira conformação visando melhorar a homogeneidade das fibras na peça e na terceira, foram obtidas as placas finais com melhores características visuais, para posterior caracterização do material.

3.2.5 – Caracterização do Material

Os corpos de prova foram caracterizados a fim de verificar o desempenho das peças e local de uso, através dos ensaios de aspecto superficial, massa específica, absorção de água, abrasão, análise foto térmica, análise por Difração de Raios-X (DRX), análise por espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), comportamento à chama, Impacto Charpy, Compressão e Tração.

3.2.6 – Massa Específica

A massa específica foi determinada mediante a massa do material com o auxílio de uma balança eletrônica modelo FA 2104N da marca Bioprecisa. O volume foi determinado pelo método de deslocamento de líquido utilizando-se uma bureta de 50 mL de acordo com a norma ASTM D792-91 e equação 3.1

$$\rho = \frac{m}{v} (g / ml) \quad (3.1)$$

onde m é a massa seca da amostra e v o volume deslocado da coluna líquida. As dimensões dos corpos de prova foram de 7 x 10 x 7 mm. Foram testadas três amostras de cada composição.

3.2.7 – Absorção de Água

O ensaio do grau higroscópico é indispensável para o entendimento da estabilidade dimensional e resistência mecânica. Por meio desse estudo, verificar-se

a capacidade das amostras em questão de absorver umidade. Com o auxílio da balança descrita anteriormente, as amostras foram pesadas e colocadas na estufa de secagem a uma temperatura de 50°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) por um período de 24 horas. Posteriormente, foram pesadas individualmente a massa (m_1 =gramas) de todas as amostras e colocados em um recipiente com água, por outro período de 24 horas. Em seguida as amostras foram enxutas manualmente com papel toalha, apenas para retirar o excesso de água e verificada a variação de massa ($m_2 - m_1$) de cada amostra. A porcentagem de absorção de água foi conseguida por meio da expressão 3.2.

$$\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3.2)$$

As dimensões dos corpos de prova foram 7 x 10 x 7 mm. Foram testadas três amostras de cada composição.

3.2.8 – Abrasão

A resistência à abrasão está relacionada ao desgaste superficial do material em decorrência do trânsito de pessoas e do contato com objetos. Alguns revestimentos suportam o tráfego intenso sem sofrer danos, outros suportam apenas pequeno fluxo, como os revestimentos internos residenciais.

O ensaio descrito pela norma NBR 12042/1992 que avalia a resistência à abrasão de materiais cimentícios, mede a espessura de um desgaste equivalente a um percurso de 500 e 1000 metros, provocados pela ação de areia girando a 30 rpm na superfície de um pequeno corpo de prova, pressionado por um disco de ferro fundido. Neste trabalho, foi feito um ensaio de abrasão similar ao de materiais cimentícios. Foi usado um disco de 25 mm de raio, a 100rpm, por 90 min, equivalente a um percurso de 1413 metros. Foram pesadas as amostras antes do ensaio (m_1) em gramas e depois do ensaio (m_2), para conseguir obter a porcentagem de perda por abrasão do material. A porcentagem de abrasão foi conseguida através da expressão 3.3.

$$\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3.3)$$

As dimensões dos corpos de prova foram 5 x 10 x 5 mm. Foram testadas seis amostras de cada composição.

3.2.8 – Análise Fototérmica

A técnica fotopirelétrica faz parte de um conjunto de técnicas experimentais que usa processos térmicos, com excitação óptica, para análise e determinação de parâmetros térmicos em materiais. São conhecidas como técnicas fototérmicas.

Nesse trabalho, a fotopirelétrica foi usada para estudar o compósito com reforço e sem reforço. Esse método consiste em colocar o elemento pirelétrico por baixo da amostra em estudo e incidir luz modulada diretamente no sensor. A fonte luminosa usada foi obtida de um laser (SpectraPhysics, modelo 2017), com uma potência de 100mw, sendo que a modulação luminosa foi feita usando o LOCKIN. O sistema de temperatura foi montado usando um controlador da Wavelength (modelo LFI – 3751) que trabalha controlando a temperatura de um elemento Peltier, modelo (TPE 2 CP-040-065-31-17TT). O feixe de luz é dirigido através de um conjunto de espelhos para dentro da câmara fotopirelétrica, excitando a amostra um programa em linguagem Delphi, automatiza todo o processo de aquisição de dados.

Quando se estudam as propriedades térmicas de um determinado material, em geral, se desejam conhecer, entre outras coisas, os parâmetros condutividade térmica e calor específico. Tais parâmetros não são obtidos diretamente pela técnica citada anteriormente. O que a técnica fototérmica nos permite, é determinar os parâmetros de efusividade (razão entre a temperatura e a massa específica de fluxo de calor) e difusividade térmica (área por unidade de tempo, taxa na qual o calor está se distribuindo no material). A importância desses parâmetros reside no fato de estarem diretamente relacionados com a condutividade térmica e com o calor específico [30]. A difusividade térmica (α) é, por definição, a razão entre a condutividade térmica (K) e a capacidade calorífica por unidade de volume (C):

$$C = \rho \times c_p (3.4)$$

onde, (ρ) é a massa específica e (c_p) o calor específico. De modo que,

$$\alpha = \frac{K}{C} (3.5)$$

$$K = e\sqrt{\alpha} (3.6)$$

$$c_p = \frac{e}{\rho\sqrt{\alpha}} (3.7)$$

onde (e) é a efusividade térmica. As dimensões dos corpos de prova foram 0,2 mm de espessura por um diâmetro de 5 mm. Foram testadas seis amostras de cada composição.

3.2.9 – Análise por Difração de Raios - X

Os difratogramas de raios X foram obtidos no aparelho Phillips PW 3710 dotado de goniômetro PW 1050, pertencente ao Centro de Geociências/UFPa (figura 20). O material foi colocado em lâmina escavada de vidro e irradiado com a linha K- α do cobre.

3.2.10 – Análise por Espectroscopia no Infravermelho

A radiação no infravermelho é normalmente utilizada para avaliar compostos orgânicos de baixos e altos pesos moleculares. O princípio fundamental do método é baseado na variação da quantidade de energia, detectada pelo aparelho quando esta passa por uma amostra, cobrindo a faixa de número de ondas de 4000 à 400 cm^{-1} . Quando as radiações de infravermelho atingem as amostras ocorrem movimentos vibracionais e rotacionais em determinada porção da estrutura molecular. Estes movimentos fazem com que as moléculas absorvam energia e a queda da quantidade de energia transmitida gera uma curva, representada pela percentagem de transmitância (%T) *versus* número de ondas (cm^{-1}). Assim, cada declínio da transmitância em dado número de onda representa as vibrações de determinado grupamento molecular.

O espectro no infravermelho foi obtido em um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier da Charis modelo IR 100, conforme figura 21. Os espectros foram analisados por unidade de transmitância, com número de varredura igual a 4, em intervalos de 1 cm^{-1} . As análises foram feitas no Laboratório de Catálise e Oleoquímica da Química/Pesquisa da UFPA.

3.2.11 – Comportamento à chama

Os materiais termoplásticos, devido às características intrínsecas de suas composições, apresentam tendência à queima quando submetidos a temperaturas acima de determinados valores. Dependendo das aplicações finais, a flamabilidade dos materiais configura-se como um fator limitante para o uso de diversos materiais plásticos, particularmente na construção civil, além de envolver aspectos de segurança, riscos de incêndio e emissão de gases tóxicos ou sufocantes. A flamabilidade deve ser controlada devido a imposições legais de ordem normativa. Para a avaliação do comportamento à chamadas placas, foi adotado o teste de queima horizontal HB 94, conforme figura 22. As dimensões dos corpos de prova foram $125 \times 13 \times 3\text{ mm}$. Foram testadas três amostras de cada composição.

3.2.12 – Resistência

-Compressão

Os ensaios de compressão foram realizados em seis corpos de prova de cada formulação, com dimensões $10 \times 5 \times 5\text{ mm}$ em uma máquina universal EMIC DL 30000, segundo a norma ASTM D-695-90.

-Tração

A resistência à tração é determinada pelo estiramento de uma amostra a uma taxa constante, sob monitoração, e resulta em um gráfico de força (tensão) *versus* alongamento. Dependendo das características de cada polímero (duro, forte, tenaz, mole, frágil e fraco) a curva é representada de forma diferente. Este teste é bastante

influenciado pela temperatura, taxa de estiramento, nível de umidade, condição de processamento e fabricação do corpo de prova.

Os ensaios de tração foram realizados em sete corpos de prova por formulação, segundo a norma da ASTM D-638M-89. A máquina de ensaio universal EMIC DL 30000 foi utilizada no ensaio.

3.2.13 – Confeção dos Corpos de Prova

A localização projetada, na fabricação do molde, para o posicionamento dos corpos de prova nas placas conformadas seria em função dos pontos de coleta de dados térmicos. Para a otimização da quantidade de fibras doadas foi feito um ajuste no posicionamento dos corpos de prova nas placas recicladas, como vemos na Figura 3.8.

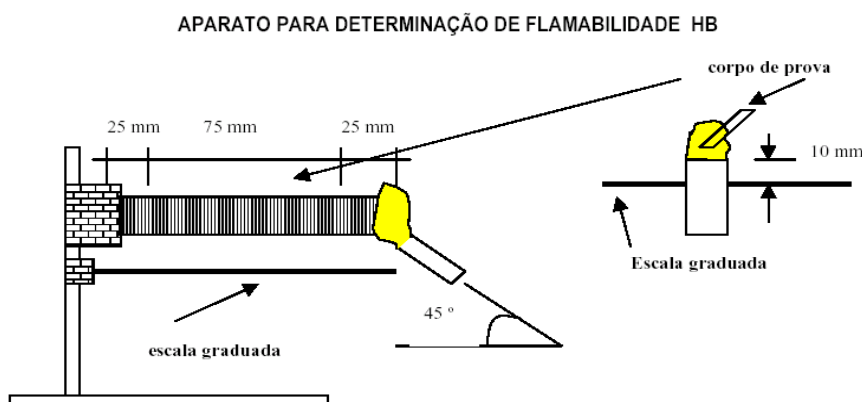


Figura 3.8 - Queima horizontal HB 94

3.3 – TELHAS

As telhas ecológicas são produzidas com materiais laminados de embalagens recicladas. Têm como matéria-prima caixas de leite longa-vida, embalagem de biscoitos, entre outros. Fabricadas por meio de um processo que usa pressão e calor, podemos confeccioná-las no formato de telhas de fibrocimento, ou no formato que bem melhor atender as necessidades da construção. Além disso, utilizamos na sua produção a manta térmica, um revestimento em alumínio na parte superior.

O produto é aplicado durante a fabricação das telhas, servindo com uma espécie de espelho, expelindo os raios de sol. Isso faz com que a telha mantenha a temperatura ambiente, deixando o seu ambiente mais agradável. Além disso, podem reduzir até 90% a temperatura do local

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1- BLOCOS

4.1.1- A revalorização das poliolefinas de PP

Foi feita através de garrafas de polipropileno pós-consumo que foram coletados pelo grupo de pesquisa EcoCompósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA ilustrada na Figura 4.1.

Realizou-se limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos. Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas foram submetidas ao moinho de facas Modelo NFA-1533 da RONE para finalizar o processo de revalorização dos polímeros. Na Figura 4.1 foi possível observar o polímero PP revalorizado, voltando ao ciclo de vida e pronto para ser rotomoldado.



Figura 4.1- Aparência do bloco de PP.

Na Figura 4.2 observa-se que o bloco de PP tem boa aderência aos elementos de revestimentos, percebemos também os elementos de encaixe no estilo “macho e fêmea”.



Figura 4.2 - Bloco de PEAD com revestimentos e elementos de encaixe.

Na Figura 4.3. Vemos que o bloco de PP tem grande aceitação de guias metálicas para sua instalação em painéis de vedação e também com material ligante.

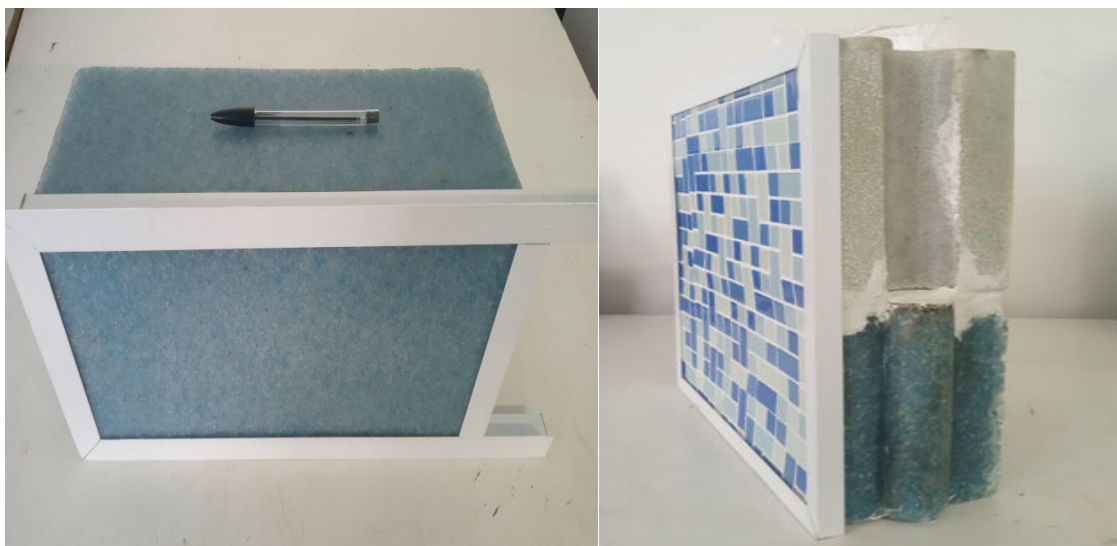


Figura 4.3- bloco de PP com elementos de ligação.

Na Figura 4.4. vemos que os blocos confeccionados com os polímeros

reciclados admitem dutos de instalações elétricas, vemos ainda o bloco com manta para isolamento acústico.



Figura 4.4- Bloco com instalação elétrica e com manta acústica.

4.1.2 - Revalorização do PEAD

A revalorização das poliolefinas foi por meio de recipientes de álcool de polietileno pós-consumo e foram coletados pelo grupo de pesquisa EcoCompósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPa. Realizou-se uma limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos. Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas foram submetidas a um moinho de facas Modelo NFA-1533 da RONE, em seguida foi submetido a outro moinho de facas Moinho de facas tipo Cróton TE-625 da TECNAL, para finalizar o processo de revalorização.

4.1.3- Rotomoldagem do Bloco

PP: o primeiro bloco confeccionado no molde de inox com embalagens de iogurtenatural pós-consumo revalorizadas e recicladas pelo processo de rotomoldagem, onde obteve-se análise do aspecto físico do bloco. Assim, apresentando brilho moderado e grande porosidade em sua superfície, principalmente na cavidade macho e nos cantos superiores com disposições de materiais, ocasionando em produção de peça baixa qualidade devido a sinterização incompleta

e elevada fragilidade comprometendo de maneira significativa o desempenho da peça final.

PEAD: Apresentou brilho moderado e número reduzido de vazios em suas superfícies, em comparação com os blocos de PP. Sua porosidade foi reduzida. Em relação os cantos superiores, não houve disposições de materiais, fechando todos os cantos dos blocos, ocasionando em produção de peça de melhor qualidade, gerando superfícies planas e regulares com qualidade superficial final. Como foi utilizado um material de menor granulometria, obteve-se uma melhor propagação de sinterização. Podemos destacar, que o bloco pode ser usado com material de acabamento ou não devido sua porosidade baixa.

Observou-se também as imagens da aplicação da pastilha de vidro com auxílio de uma massa polimérica de poliacetato de vinila (PVA) com aditivos específica para assentamento de pastilhas dispensando o uso de argamassa de revestimento ou perfis, ocasionando em produção mais econômica devido não utilizar uma segunda moagem na revalorização polímero, reduzindo o custo final do bloco.

Na Figura 4.5 observa-se a modelagem de algumas das diversas possibilidades de cores que podem ser aplicadas ao bloco ecológico, proporcionando uma produção facilitada pela modelagem simultânea de vários blocos, proporcionando a visualização de paredes.

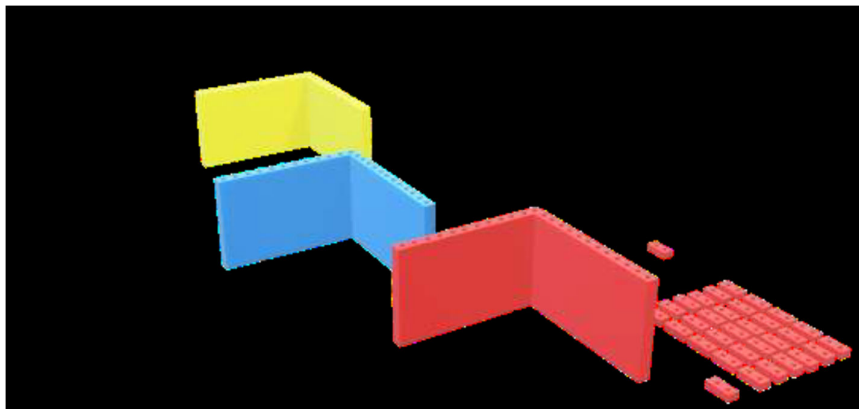


Figura 4.5– Modelagem 3D da montagem de paredes com blocos sustentáveis .

A modelagem do bloco mostrou-se eficaz, pela facilidade de simulação de dimensionamento das paredes dos blocos ecológicos na medida em que proporciona assimilação das escalas e o domínio sobre as proporções dos blocos e paredes.

4.1.4- Microscopia Óptica

Devido aos polímeros disporem de formatos diferentes após a revalorização, foi utilizado o microscópio óptico Axiocam 105 color do fabricante ZEISS para colher as imagens do tamanho de 2560x1920 pixels dos polímeros pós consumo, revalorizados de PP e PEAD usados na rotomoldagem dos blocos. Com ajuda do software ImageJ foi calculado tamanho de cada partícula das imagens e foi medido a média do tamanho das partículas. Podemos observar na Figura 4.1, as partículas de PP onde foi calculado o valor médio da área do PP que é 10,15 mm e na Figura 4.2 observamos as partículas de PEAD onde foi calculado o valor médio da área do PEAD de 1,53 mm.



Figura 4.6 Microscopia óptica de PP
Fonte: Mendes e Ferreira (2022).



Figura 4.7 Microscopia óptica de PEAD
Fonte: Mendes e Ferreira (2022).

4.1.5 - Densidade – Método do Picnômetro

Os resultados das análises de densidade pelo método do picnômetro, realizados a 27°C a temperatura da água destilada com sua densidade de 0,99652 g/l, mostram que as embalagem pós-consumo revalorizadas apresentaram variações entre os valores de densidade. A amostra de polietileno apresentou $m_1 = 0,51$, $m_2 = 40,11$, $m_3 = 41,04$, $m = 0,43$, $V = 0,431$ e densidade de $0,9976 \text{ g/cm}^3$ e a amostra de polipropileno apresentou $m_1 = 0,54$, $m_2 = 40,07$, $m_3 = 40,83$, $m = 0,22$, $V = 0,221$ e densidade de $0,9954 \text{ g/cm}^3$ como ilustra os Quadros 6 e 7. Onde podemos observar variação de 0,22% entre as densidades dos materiais analisados.

	Densidade (g/m^3)
PEAD	0,9976
PP	0,9954

4.1.6 – Ensaio de Resistência

Os blocos rotomoldados foram submetidos a ensaio de compressão e foi percebido que a resistência dos blocos de PP é maior que as resistências à compressão dos blocos de PEAD como podemos observar na Tabela 4.1, as amostras de PP apresentaram uma resistência a compressão de 50% acima das amostras de

PEAD. Foi constatado que as amostras dos blocos de PP após o teste, sofreram rupturas como podemos observar na Figura 4.8 a) lado esquerdo e a Figura 4.8 b) lado direito com as rupturas similar a materiais cerâmicos após o ensaio de compressão observado no estudo de (JNR et al., 2018).

Os blocos de PEAD sofreram deformação local elástica, formando uma deformação lateral apreciável não ocorrendo ruptura do bloco, após a retirada da carga aplicada, as amostras tendem a retornar a sua forma inicial, indicando que o os blocos de PEAD possui uma fase elástica maior que os de PP. Podemos observar na Figura 69 a) o bloco antes do ensaio, na Figura 69 b) o bloco recendo uma carga e sofrendo uma deformação local elástica nas laterais do bloco, Figura 69 c) o bloco retornando a sua forma inicial após a remoção da carga aplicada sobre ele e Figura 4.9 d) recuperação de 100% após os testes, não ocasionado uma deformação residual permanente como no estudo de (BARROS, 2020), indicando uma região com deformação elástica mais longa que o bloco de PP.

Tabela 4.1- Resistência compressão

Nº de Amostras dos Blocos	Resistencia a Compressão (Mpa)	
	PEAD	PP
13	0,6 MPa	0,9 Mpa

Fonte: Mendes e Ferreira, 2022.

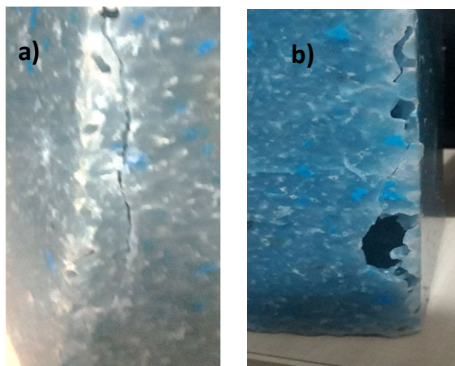


Figura 4.8 – Fratura do bloco de PP a) lado esquerdo b) lado direito
Fonte: Mendes e Ferreira, 2022.

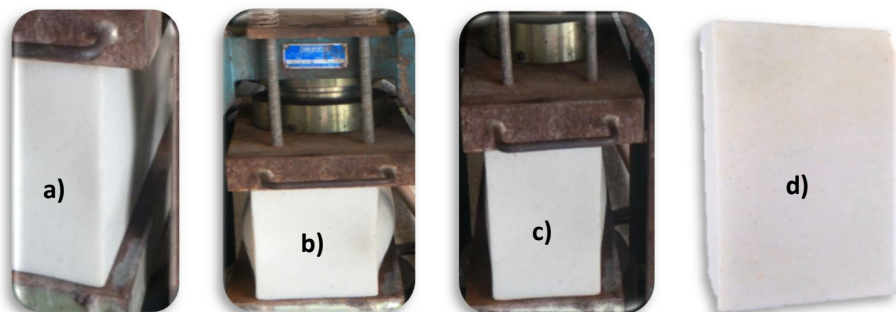


Figura 4.9- Bloco de PEAD sofrendo deformação elástica a) início do teste b) deformação lateral c) após a remoção da carga d) bloco com recuperação de 100%.
Fonte: Mendes e Ferreira, 2022.

Foi adicionado nos blocos uma malha de aço com diâmetro de 3,4 milímetros como reforço para aumentar a resistência a compressão, na Figura 70 a) podemos observar a estrutura desenvolvida para o reforço dos blocos, na Figura 70 b) temos o molde com a armação no seu interior aguardando o material ser despejado, na Figura 70 c) os blocos sendo ensaiados na máquina Emic DL10000MF no laboratório de materiais de construções na Universidade da Amazônia (UNAMA) e na Figura 70 d) a imagem do monitor do computador acoplado a máquina Emic no momento do ensaio.

Os blocos de PEAD reforçados com a malha de metal apresentaram melhor resistência a compressão nos blocos de PEAD sem reforço, indicando aumento de 0,26 Mpa, com tensão de força máxima de 0,86 Mpa e os blocos de PP apresentaram redução de 0,25 Mpa exibindo tensão de força máxima de 0,65 Mpa.

Os blocos a base de garrafa PET recheados ilustrado na Figura A nos anexos B, pode ser uma boa alternativa para solucionar o aumento de resistência a de compressão, adicionando concreto dentro dos blocos rotomoldados. Outra solução seria a adicionar fibra de sisal ou cabuya alterando as propriedades elásticas do polímero matriz resultando em menor deformação plástica e maior elasticidade, acompanhadas por tempos de recuperação mais curtos (BARROS, 2020).

Apesar dos blocos rotomoldados não atingirem as exigências correspondente

a resistência mecânica conforme norma adaptada de blocos cerâmicos. Cerca de 60% dos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação certificados e não certificados comercializados na região de Chapecó no estado de Santa Catarina não atingiram as exigências de resistência mecânica e 90% das marcas avaliadas apresentaram algum tipo de não conformidade técnica (KANG, 2021).

4.1.7 –Ensaio de Flexão

As amostras foram desenvolvidas de peças rotomoldadas de poliolefinas pós-consumo e submetidas a velocidade de deformação mediante ao polímero PP com 2 mm//min (PP2), PP com 5 mm/min (PP5), 10 mm/min (PP10), PEAD 2 mm/min (PEAD2), PEAD com 5 mm/min (PEAD5) e PEAD 10 mm/min (PEAD10). Os corpos de provas de PEAD com seus respectivos acabamentos e prontos para ser testados. Foi calculado o modo de elasticidade e a deformação máxima de acordo com os gráficos e dados obtidos pelo ensaio de flexão, portanto obteve-se 302,03 MPa para PP2, 266,54 MPa para PP5, 82,64 MPa para PP10, 90,84 Mpa para PEAD2, 76,10 MPa para PEAD5 e 26,03 MPa para PEAD10 para o módulo de elasticidade. A deformação máxima foi 21,58 mm para PP2, 19,13 mm para PP5, 18,86 mm para PP10, 25,95 para PEAD2, 22,20 mm para PEAD5 e 19,00 mm para PEAD10.

Notou-se que a amostra de PP2 obteve o modulo de elasticidade 265,46% maior que PP10, 13,31% maior que PP5, 232,46% que PEAD2 e 1060,06% maior que PEAD10 e o PEAD2 obteve uma deformação máxima de 36,62% maior que PEAD10, 16,90% maior que PEAD5, 20,24% maior que PP2 e 37,62% maior que PP10. Sendo assim, observou-se uma variação sob a influência de velocidade deformação.

Em relação a resistência a flexão, os blocos de PP resistiram 36,34 MPa para PP2, 27,02 MPa para PP5 e 9,21 MPa PP10 e PEAD resistiram 6,6854 MPa para PEAD2 9,551 MPa para PEAD5 1,6 MPa para PEAD10. Com dados obtidos de resistência a flexão foi observado que as amostras de PP2 apresentaram maior resistência em comparação com as outras amostras de PP e PEAD.

No ensaio de flexão as amostras de PP apresentam melhores resultados com

materiais reciclado por rotomoldagem, agora de acordo com trabalho realizado por rotomoldagem com polietileno virgem e foi realizado o ensaio de flexão da superfície externa, apresentou valor próximo a 17,5 MPa. Apesar de ser tratar do mesmo processo as amostras dos blocos rotomoldados apresentam porosidade e espaços intersticiais entre as estruturas facilitando a aglutinação de outros materiais nas superfícies externa dos blocos como cimento e matérias de acabamento externo e interno em paredes.

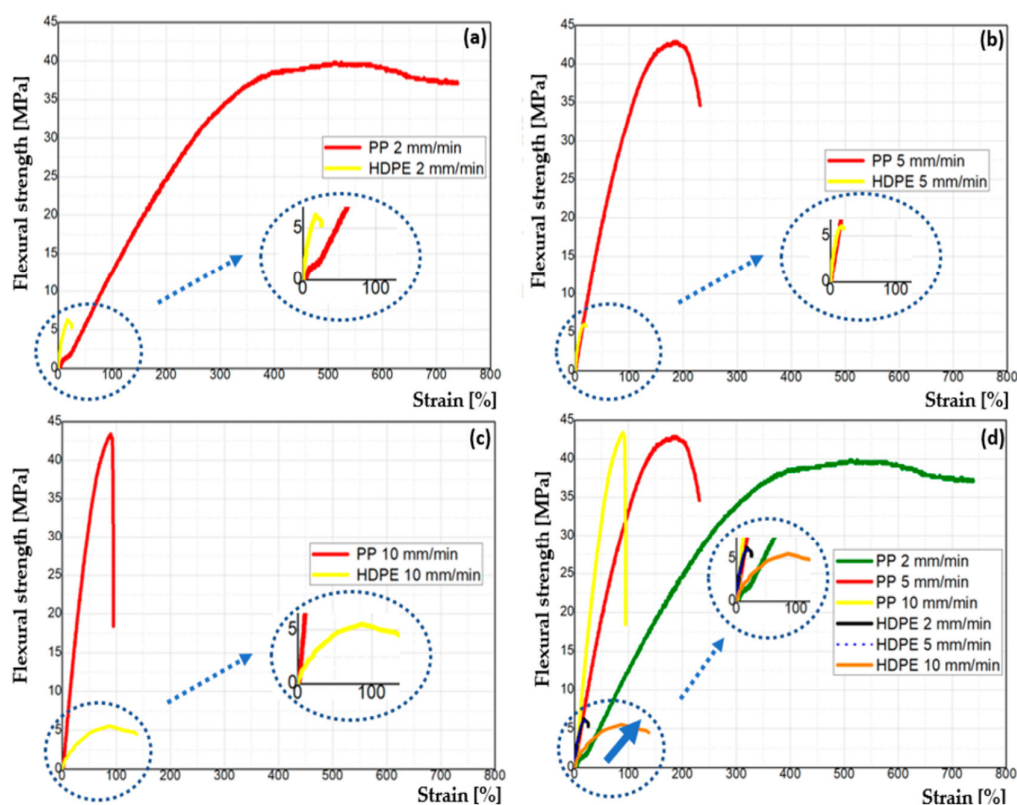


Figura 4.10- Curvas de resistência à flexão versus deformação (deformação): (a) PP e PEAD na taxa de deformação de 2 mm min⁻¹; (b) PP e HDPE na taxa de deformação de 5 mm min⁻¹ (c) PP e HDPE na taxa de deformação de 10 mm min⁻¹ e (d) PP e HDPE nas diversas taxas de deformação (de 2 mm min⁻¹ a 10 mm min⁻¹).

4.1.7 –Difração de raio - x

As amostras obtidas para análise de difração foram extraídas antes da revalorização das embalagens pós-consumo como observamos na figura a) e depois do processo de rotomoldagem. Através das embalagens e das peças rotomoldadas foram obtidas.

As amostras em forma de pó como ilustra a Figura, após a obtenção foi inserida no difratômetro modelo D2 Phaser ilustrado na Figura c) e por último foi plotado a intensidades da difração dos planos cristalográficos correspondente aos polímeros PP

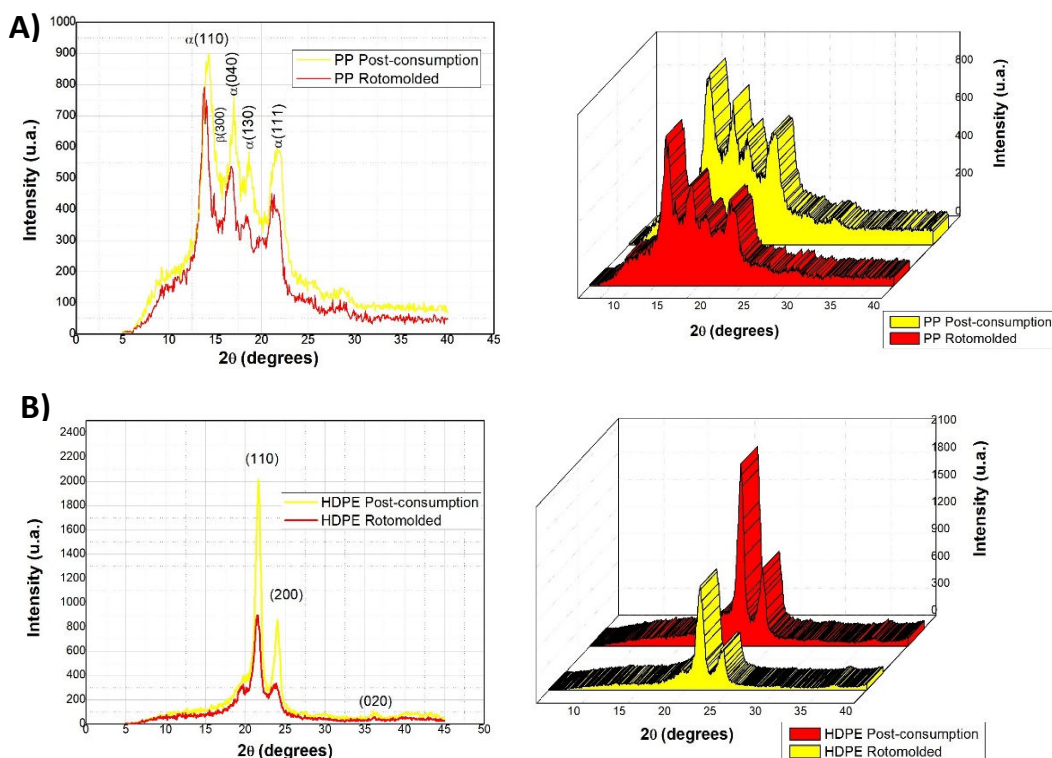


Figura 4.11- Diffractogramas: A) material PP pós-consumo e rotomoldado e B) material HDPE pós-consumo e rotomoldado.

4.2 – PISOS

4.2.1 – Análise do PS

Os copos descartáveis coletados (figura 4.12a), de capacidade volumétrica de 200 mililitros, apresentaram massa média de 2,05g. Para moldar as placas foram utilizados 2.744 copos. Selecionados, moídos (figura 4.12b) e peneirados em Série Taylor, foram caracterizados por DRX e FTIR.

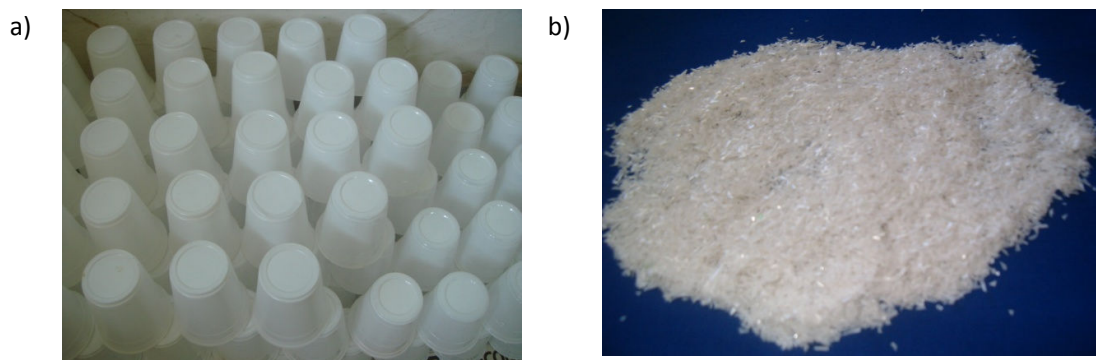


Figura 4.12- (a) Copos de PS selecionados e (b) triturados.

Observa-se um difratograma de copos de PS triturados, onde os dois halos intensos em baixo ângulo são característicos de PS amorfo, e os picos intensos em 2θ mais elevados correspondem à presença de aditivos. A fina camada brilhante e cristalina de revestimento externo dos copos e os picos característicos de 2θ próximos a 12, são quase imperceptíveis.

Na figura 4.13, observa-se um espectro de absorção de infravermelho dos copos de PS triturados. Neste espectro não foi possível verificar bandas de absorção características de cristalinidade como foi observado, atribui-se este comportamento à grande percentagem de material amorfo.

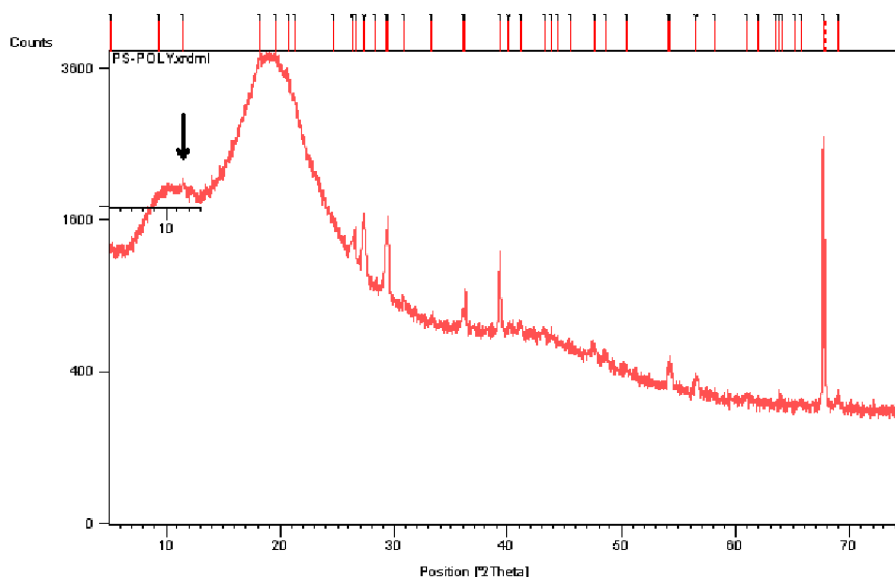


Figura 4.13 –Difratograma de copos de PS triturados.

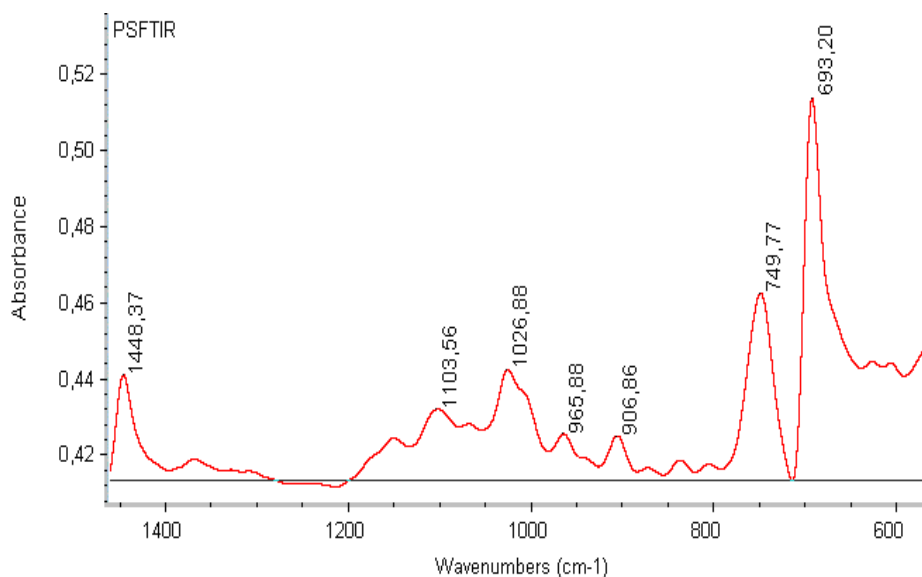


Figura 4.14– Espectro de absorção sob FTIR de copos de PS triturados.

A curva de distribuição granulométrica do PS triturado é ilustrada na figura 4.15. Foram confeccionadas placas preliminares conformadas por diversas frações granulométricas de partículas, servindo como base para a escolha da granulometria adotada no processamento de peças. Foram escolhidos os flocos com diâmetro das partículas na faixa de 0,59 a 1 mm, por apresentarem peças com melhor homogeneidade na conformação.

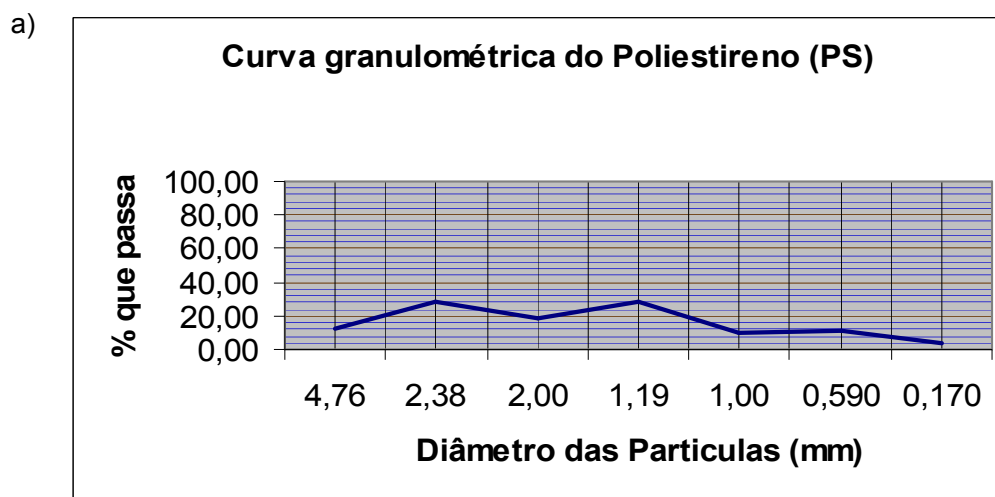


Figura 4.15 – curva de distribuição granulométrica do PS triturado,

4.2.2 – Análise da Fibra

O diâmetro das amostras de fibras observado por MEV foi da ordem de $500\mu\text{m}$, os feixes dessas fibras para análise no microscópio, foram fragmentados sob forma mecânica na faixa de 3 a 5 mm. O corte mecânico fecha as extremidades das cavidades longitudinais das fibras, inclusive do lúmen, que possui a maior abertura e se localiza no centro da fibra, conformação visto na figura 4.16 (a e b).

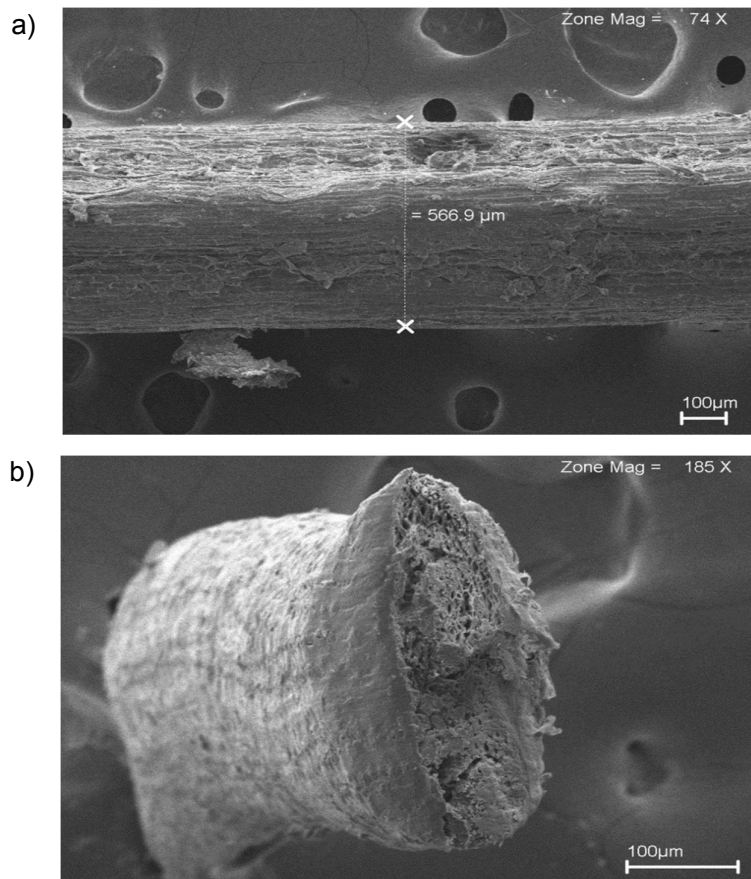


Figura 4.16- Características da fibra: a) diâmetro da fibra de coco de babaçu, b) corte mecânico da fibra.

4.2.3 – Reciclagem

Os copos descartáveis, após limpeza, secagem, trituração e peneiramento, foram misturados à fibra e ao pigmento.

4.2.4 – Aparato Experimental

A sequência de montagem do aparato experimental: a) o molde do tipo moldura de quatro placas antes da perfuração e soldagem; b) o molde com sistema de aquecimento e resfriamento; c) conectores de termopar; d) resistências ligadas ao VARIAC; e) alimentação do material para ser conformado; f) isolamento inferior do forno; g) manta de poliuretana de isolamento superior; h) manta de fibra de côco; i) manta de coco posicionada no aparato experimental; j) sistema de resfriamento.

Foram utilizados 20% de fibra de coco de babaçu, 1% de pigmento em pó verde e 79% de PS para a conformação. A pressão de trabalho foi de 4 ton., durante um período de 30 min. de aquecimento e 01:20 hora de resfriamento.

Após a 1ª. conformação, a placa é novamente triturada e reprocessada nas mesmas condições de trabalho.

Após a 2ª. conformação foi obtido o eco-piso. Toda a sequência de conformação serve para misturar e homogeneizar os componentes do compósito.

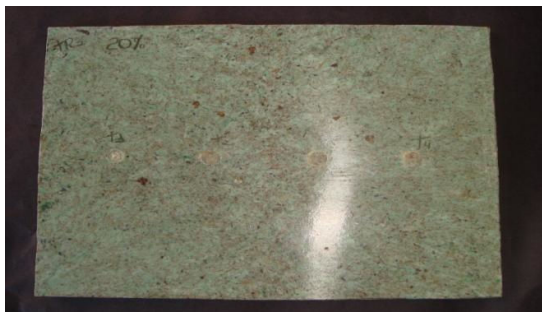


Figura 4.17– Aparência Final da placa de piso sustentável.

4.3 – CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

4.3.1 – Aspecto Superficial

As placas conformadas de PS reciclado com 30% de fibra de coco de babaçu, por análise visual e mecânica, apresentaram brilho, maior rugosidade na superfície aquecida a 200°C e pequena rugosidade na superfície aquecida a 240°C.

4.3.2 – Massa específica e difusividade térmica

Uma das expectativas ao se projetar compósitos com fibras naturais é o aumento de propriedades específicas, dado a redução da massa específica. A massa específica da matriz foi reduzida de 1,28 para 0,82 g/cm³, pela presença de 30% de fibra, como visto na figura 33 (a).

A principal restrição para o processamento de compósitos com fibra natural é a limitação de temperatura, porque a fibra natural degrada em temperaturas próximas a 280°C. A difusividade térmica da matriz foi elevada de $3,39 \times 10^{-4}$ para $5,27 \times 10^{-4}$ cm²/s, pela presença de 30% de fibra, como visto na Figura 4.18 (b). O aumento de difusividade dificulta o processo térmico de formação das placas.

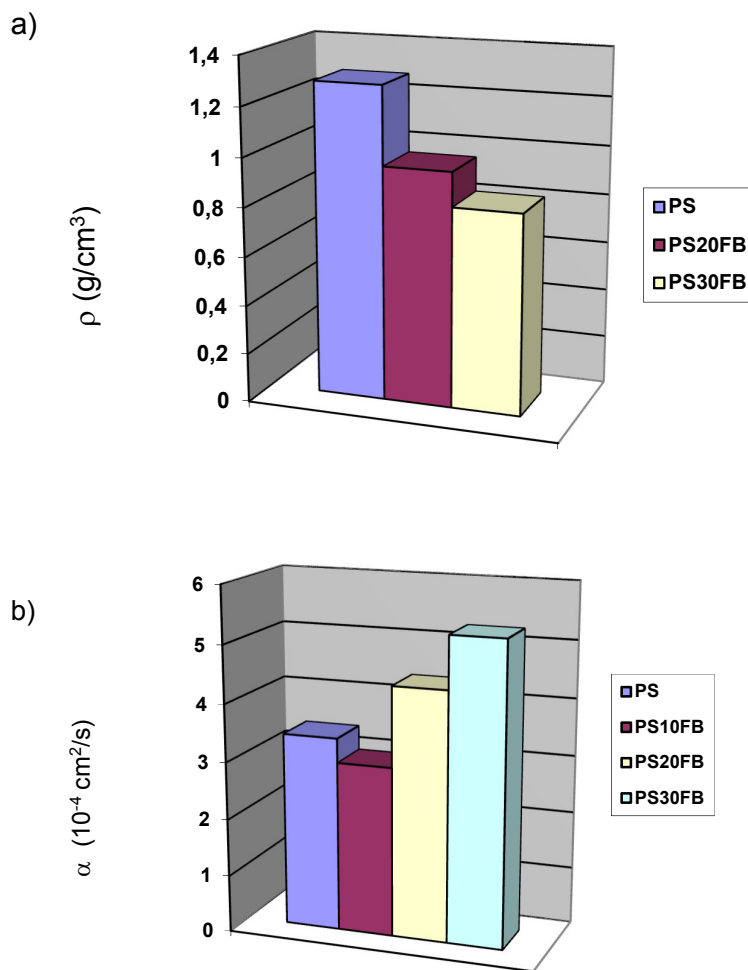


Figura 4.18- (a) massa específica; b) difusividade térmica.

4.3.3 – Absorção de água e abrasão

Em princípio, PS não absorve água. Entretanto, a presença de defeitos irregularidades superficiais, além da superfície não tratada, em 0,37% de absorção. O uso de fibra sempre acarreta maior absorção de água, chegando a 5,85 % no material com 30% de fibra.

É comum o uso de fibra de vidro ou carga inorgânica para reduzir perda por abrasão. Não é comum o uso de fibra natural para este fim. Ocorreu aumento em perda de massa pelo uso de fibra natural de 0,32 para 0,99 %. Porém, deve-se ressaltar que o valor de abrasão próximo a 1% da perda de massa do material é satisfatório para o uso em piso residencial em ambientes internos. Entretanto nenhuma das placas conseguiu classificação HB para uso em construção civil. A frente da chama propagou na metade do tempo permitido para classificação de placas de PS.

4.3.4 – Impacto Charpy, compressão e tração

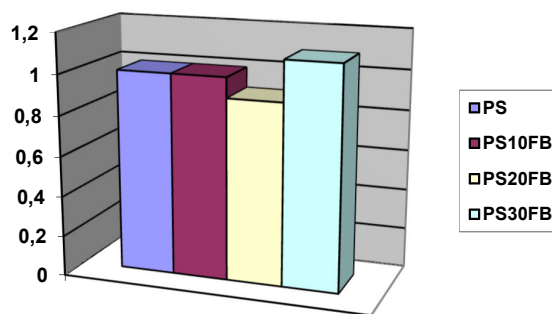
Os ensaios de caracterização mecânica (figura 35) mostraram que o uso de fibra aumentou a resistência ao impacto do compósito em relação à matriz e restringiu a deformação plástica das peças.

Em termoplásticos sob compressão, o mecanismo preferencial de fratura é o micro-escoamento sob cisalhamento. Neste caso, a trinca se propaga através do deslizamento de planos. A velocidade de propagação da trinca e a energia necessária para a fratura dependem do nível de adesão interfacial entre a fibra e a matriz. A trajetória da trinca depende do descolamento, da quebra ou arranque fibra. Figura 4.19 a.

Sob tração, ocorre principalmente microfibrilamento. Durante o ensaio de impacto, a energia consumida na fratura de termoplásticos depende de mecanismos de absorção de energia. A zona de deformação plástica pode ser identificada por uma área rugosa formada pela propagação da trinca em diferentes planos precedida de

área lisa onde o crescimento da trinca ocorre sem nenhuma deformação plástica.
Figura 4.19 b.

a) Deformação sob
compressão



b) Deformação sob tração

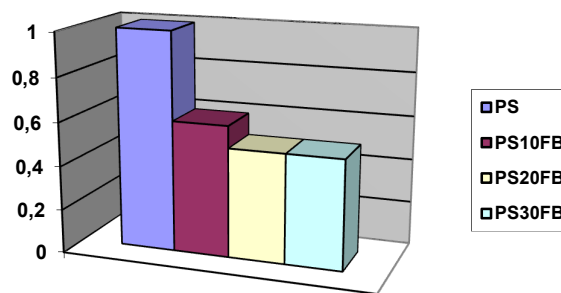
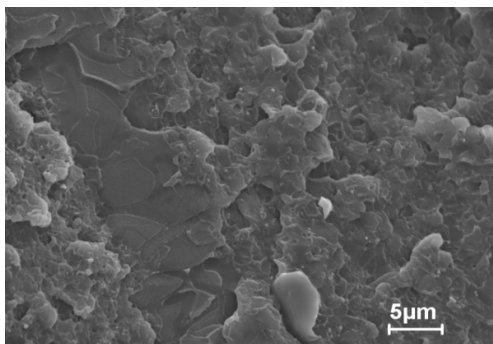


Figura 4.19 – Impacto Charpy, compressão e tração.

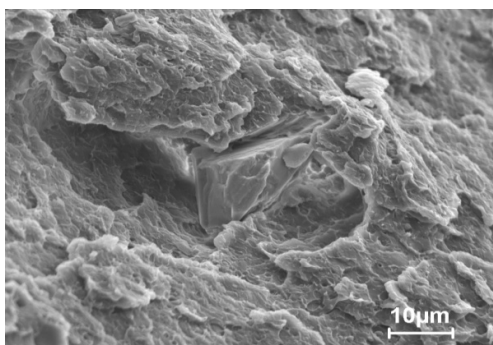
4.3.5 – Superfície de fratura dos compósitos

As imagens da figura 4.28 ilustram a adesão dos constituintes do compósito e apresentam as características da superfície de fratura dos compósitos de PS. Na figura 4.20a é observada a matriz deformada plasticamente, na figura b são observadas partículas micrométrica de aditivos do processamento de copos PS e partículas da ftalocianina, que não restringem a deformação plástica da matriz. Na figura c, observado a adesão fibra/matriz, foram observados mecanismos de descolamento e arrancamento da fibra, restringindo a deformação plástica da matriz.

a) PS



b) PS



c) PS

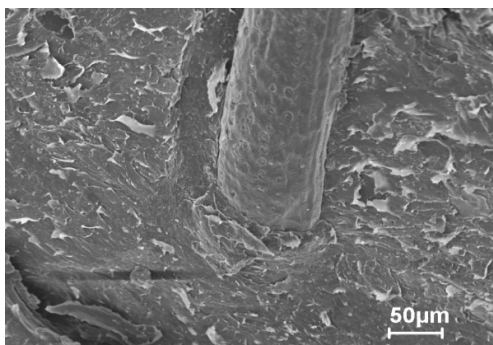


Figura 4.20 (a, b e c)- Fratografia de PS, PS30FB.

4.4 – TELHAS

Com base nos resultados, pode-se afirmar que o aumento da reciclagem tem um grande efeito benéfico em termos de potencial de aquecimento global. A comparação do consumo total de energia envolvido em todo o ciclo de vida mostra uma redução total de 7% da necessidade de energia do sistema em consequência direta do aumento da taxa de reciclagem (de 2% para 22% atualmente). As reduções mais significativas em relação aos poluentes atmosféricos.



Figura 4.21 – Peça da telha sustentável.

Comparando com os resultados de Haque 2019, que seu trabalho apresentou menor desempenho resistência 4,75 Mpa e densidade com maior espaço vazio, bem como coeficiente de permeabilidade, tivemos resultados satisfatórios (6, 28 Mpa), pois todas estas características foram superior.

Bonadies 2022, utilizou resíduos com e sem alumínio foram empregados em combinação com polietileno reciclado para realizar compósitos sustentáveis em uma ampla gama de composições. Alcançou boa resistência à água e também uma boa densidade com 80 a 90% de material de fibra de madeira.

Pati 2020 também concluiu que as telhas ecológicas provenientes da reciclagem de embalagem longa vida, podem substituir as telhas convencionais. As mesmas se demonstraram ao longo da pesquisa resultados melhores que as telhas de fibrocimento tanto na caracterização mecânica como físico-química. O uso das embalagens cartonadas possui um mercado crescente, sendo uma fonte atraente de matéria-prima de alta qualidade, em se tratando de reciclados, possui alto valor agregado, uma vez que tecnologicamente é possível aproveitar toda a embalagem. A contribuição ambiental é, sem dúvida, um fator bastante importante, já que a reciclagem é uma a solução para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 – CONCLUSÕES

Foi obtido o desenvolvimento de blocos ecológicos de polímeros reciclados, aumentando o ciclo de vida dos materiais das embalagens, evitando que sejam despejadas em locais inadequados, aplicando os métodos de revalorização de recipientes pós-consumo e reprocessamento por rotomoldagem.

Em comparação com os blocos produzidos po IFTIKAR 2020, que obteve densidade de 1700 kg/m³, o obtido nesta pesquisa foi de 0,9976g/l, o que atende também a Norma de desempenho brasileira que determina a densidade de 2137 kg/m³, considerando ainda que os materiais sejam diferentes. Oferece uma grande utilidade como blocos de vedação em paredes internas.

Os blocos submetidos a determinações d e c aracterísticas geométricas, obteve as dimensões de medidas de faces a presentando padronização nos blocos de PEAD e PP com largura, altura e comprimento dentro dos limites (135 mm – 145 mm, 185mm – 195 mm e 385 mm – 395 mm). As determinações das paredes externas apresentaram espessura com 10 mm para PEAD e 11mm para PP e ambas poliolefinas tiveram rugosidades internas. Todos os blocos apresentaram medidas inferiores a 3 mm relacionados a determinações a desvio de esquadro e planeza das faces. A resposta elástica de blocos de PEAD rotomoldados com partículas de diâmetro aparente de 1,53 mm foi de 100% sob a compressão de 0 ,6 Mpa e os b locos de PP com partículas de diâmetro aparente de 10,15 mm sofreram grande fratura sob 0,9 MPa no ensaio de compressão.

A maior eficiência obtida dos resultados coletados foi devido o ajuste do estudo térmico dos eco-pisos;

Os equipamentos montados para a conformação de eco-pisos, foram projetados com custo mínimo satisfazendo as normas de processamento;

Não foi verificado degradação visual significativa dos eco-pisos durante as etapas no processo de conformação, utilizando a modelagem por compressão;

Foi observado que a placa conformada com 20% de fibra de coco babaçu obteve melhores resultados, onde a densidade da matriz foi reduzida de 25% pela presença da fibra, observações fraturográficas e resultados de ensaios mecânicos de compressão, tração e Impacto Charpy comprovaram que a fibra foi atuante no produto como tenacificante, a difusividade térmica elevada restringe a proporção superior a 20%, tornando esta a proporção mais adequada para a confecção dos eco-piso para ambiente interno residencial.

Resíduos com e sem alumínio foram empregados em combinação com polietileno reciclado para realizar compósitos sustentáveis em uma ampla gama de composições. Alcançou boa resistência à água e também uma boa densidade com 80 a 90% de acordo com a pesquisa e comparação com a literatura, estima-se que dos 6 bilhões de embalagens longa-vida sejam produzidas por ano país. Em contrapartida, menos de 14% são plásticos (20% da composição) e alumínio (5%). Dessa forma, esses materiais deixam de ser descartados no meio ambiente e além disso são utilizados na produção de telhas ecológicas.

Desse modo, a telha ecológica atende a interesse de ordem ambiental e de saúde pública, com intuito de estimular a reciclagem, de tal forma que é feita com materiais para os quais os destinos mais comuns certamente seriam os lixões ou aterros sanitários.

5.2 – TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, propomos que seja feita uma análise mais aprofundada a longo prazo em relação ao comportamento das telhas e também um estudo econômico, para comparar a questão do custo benefício em relação aos materiais comerciais.

CAPÍTULO 6 REFERÊNCIAS

ADABRE, M. A., *et al.* “Assessing critical risk factors (CRFs) to sustainable housing: The perspective of a sub-Saharan African country”, **Journal of Building Engineering**, v 41, 2021.

ADAMS, R., *et al.* “Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review”, In **International Journal of Management Reviews**, Vol. 18, 180–205, (2016).

ALEIXO, A. M., LEAL, S., AZEITEIRO, U. M., “Higher education students' perceptions of sustainable development in Portugal”, **Journal of Cleaner Production**, v 327, 2021.

ASTM D6110-18 - Standard Test Method for Determining the Charpy IMPact Resistance of Notched Specimens of Plastics.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais- ABRELPE, Relatório sobre a situação dos resíduos sólidos em cada região do Brasil. Disponível em: <<https://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 20 maio 2022.

AZEVEDO, A. R. G., “Technological performance of açai natural fibre reinforced cement-based mortars”, In **Journal of Building Engineering**, 2021.

BAE, S.G., CHOI, J., “Influence of changes in design parameters on sustainable design model of flat plate floor systems in residential or mixed-use buildings”, **Sustainable Cities and Society**, v 63, 2020.

BALCOM, P. *et al.* “Extended exergy sustainability analysis comparing environmental impacts of disposal methods for waste plastic roof tiles in Uganda”, In **Development Engineering**, v 6, 2021.

BHANDERI, K. K., JOSHI, J. R., PATEL, J. V., “Recycling of polyethylene terephthalate (PET or PETE) plastics – An alternative to obtain value added products: A review”, In **Journal of the Indian Chemical Society**, v 100, 2023.

BARBOSA, G. S., “O Desafio do Desenvolvimento Sustentável”, *Revista Visões*, v 1, n 4, 2008.

BASBASAN, A, J., “Emerging challenges on viability and commercialization of lignin in bio based polymers for food packaging: A review”, In **Food Packaging and Shelf Life**. v 34, 2022.

BREEAM. Building Research Establishment Environmental Assessment Method, 2021. Disponível em: <<https://www.breeam.com>>. Acesso em: 14 Junho 2022.

Bolsa de Valores Ambientais do Rio – BVRio, Créditos de Logística Reversa - Uma Inovação Socioambiental para gestão de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <<https://www.bvrio.org.br>>. Acesso em: 16 abril 2022.

BONADIES, I. et al “Sustainable Cellulose-Aluminum-Plastic Composites from Beverage Cartons Scraps and Recycled Polyethylene”, In **Polymers**, v 14, 2022.

BUDAK, A. Sustainable reverse logistics optimization with triple bottom line approach: An integration of disassembly line balancing. In **Cleaner Production**. Vol 270, Elsevier, 2020.

CAIADO, N., GUARNIERI, P., *et al.* “A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market”, **Resources, Conservation and Recycling**, v 118, pp. 47-59, 2017.

CHAVES, G.; XAVIER, L.; GUARNIERI, P., CAIADO, N. A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market. In **Resources Conservation and Recycling**. Vol 118, p. 47–59, Elsevier, 2017.

CEOTTO, L. H. Avaliação de sustentabilidade: balanço e perspectivas no Brasil. In: **I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável – SBCS 08**. São Paulo, 2008.

DASANAYAKA, C, H., *et al.* “The application of management accounting practices towards the sustainable development of family businesses: A critical review”, In **Cleaner Environmental Systems**, 2021.

DOS SANTOS, G. Z. B. *et al.* “Environmental performance of a cement composite reinforced with vegetable fibers cultivated in the Brazilian Amazon”, In **Cleaner and Circular Bioeconomy**, 2022.

DUDEK, T., DZHUGURYAN, T., LEMKE, J., “Sustainable production network design for city multi-floor manufacturing cluster”, In **Procedia Computer Science**, v 159, 2019.

DUTTA, P., TALAULIKAR, S., XAVIER, V., KAPOOR, S., “Fostering reverse logistics in India by prominent barrier identification and strategy implementation to promote circular economy”, **Journal of Cleaner Production**, v 294, 2021.

ELAVARASAN, R. M., *et al.* “A novel Sustainable Development Goal 7 composite index as the paradigm for energy sustainability assessment: A case study from Europe”, In **Applied Energy**, v 307, 2020.

FIGUEIREDO, K. et al “Assessing the usability of block chain for sustainability: Extending key themes to the construction industry”, In **Journal of Cleaner Production**, v 343, 2022.

FREESTONE, R., FAVARO, P., “The social sustainability of smart cities: A conceptual framework”, In **City, Culture and Society**, 2022.

GAVALI, H. R., *et al.* "Development of sustainable alkali-activated bricks using industrial wastes", In **Construction and Building Materials**, v 215, 2019.

HAQUE, M. A., *et al.* "Evaluating the conventional mixing grades of demolished tiles aggregate concrete and mortar for sustainable use", In **Journal of Cleaner Production**, v 213, 2019.

HASHEMI, S. E. A fuzzy multi-objective optimization model for a sustainable reverse logistics network design of municipal waste-collecting considering the reduction of Emissions. In **Cleaner Production**. Vol 318, Elsevier, 2021.

HE, Y. *et al.* "How green building rating systems affect indoor thermal comfort environments design", In **Building and Environment**, v 224, 2022.

HERATH, H. M. K. K. M. B., MITTAL, M., "Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review", In **International Journal of Information Management Data Insights**, 2022.

IDLE, T. By Fusion: Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste. Available online: <https://sustainablebrands.com/read/product-service-design/innovation/byfusion-creating-the-building-blocks-for-tackling-ocean-waste> (accessed on 21 February 2020).

IFTIKHAR, S., *et al.* "Synthesis and characterization of sustainable geopolymer green claybricks: An alternative to burnt clay brick", **Construction and Building Materials**, v 259, 2020.

ILIC, D., SEVIC, I. M., KOSANOVIC, T. I., "Application of Unmanned Aircraft Systems for smart city transformation: Case study Belgrade", In **Technological Forecasting & Social Change**, 2022.

JAUHAR, S. K., AMIN, S. H., Zolfagharinia, H., "A proposed method for third-party reverse logistics partner selection and order allocation in the cellphone industry", **Computers & Industrial Engineering**, v 162, 2021.

KUTTY, A. A., *et al.* "Sustainability Performance of European Smart Cities: A Novel DEA Approach with Double Frontiers", In **Sustainable Cities and Society**, v 81, 2022.

LNENICKA, M., *et al.* "Transparency of open data ecosystems in smart cities: Definition and assessment of the maturity of transparency in 22 smart cities", In **Sustainable Cities and Society**, v 82, 2022.

MARCHESI, M., TWEED, C., "Social innovation for a circular economy in social housing", In **Sustainable Cities and Society**, v 71, 2021.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (revisão)** – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos** – Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública. Ministério do Meio Ambiente, 2014.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Cartilha A3P: **Agenda ambiental na administração pública**. 5 a ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

MOURAD, A,L,.et al. "Influence of recycling rate increase of aseptic carton for long-life milk on GWP reduction". *Resources, Conservation and Recycling*, v 52, 2008.

OLIVEIRA, U.R. CRisk management applied to the reverse logistics of solid waste. In **Cleaner Production**. Vol 296, Elsevier, 2021.

PATI, P. K; SAHU, S. K., "Innovative utilization of fly ash in concrete tiles for sustainable construction", In **Materials Today: Proceedings**, v 33, 2020.

PATRÃO, C., *et al. Manual de boas práticas para eficiência energética*, (2005).

PIROOZFAR, P., POMPONI, F., ALEM, F, E,. "Life cycle environmental impact assessment of contemporary and traditional housing in Palestine", In **Energy & Buildings**, v 202, 2019.

POURMEHDI, M.; PAYDAR, M.; GHADIMI, P.; AZADNIA, A. Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network. In **Computers and Industrial Engineering**. Vol 163, Elsevier, 2022.

RANI, S., KUMAR, R., "Bibliometric review of actuators: Key automation technology in a smart city framework", In **Materials Today: Proceedings**, vol 60, 2022.

ROCHA, T. B., PENTEADO, C. S. G., "Life cycle assessment of a small WEEE reverse logistics system: Case study in the Campinas Area, Brazil", **Journal of Cleaner Production**, v 314, 2021.

SAFDAR, N., *et al.* "Reverse logistics network design of e-waste management under the triple bottom line approach", *Journal of Cleaner Production*, v 272, 2020.

SANTOS, R. M., *et al.* "Thermal and Rheological Characterization of Recycled PET/Virgin HDPE Blend Compatibilized with PE-g-MA and an Epoxy Chain Extender", In *Polymers*, v 14, 2022.

SECINARO, S., *et al.* "Smart city reporting: A bibliometric and structured literature review analysis to identify technological opportunities and challenges for sustainable development", In **Journal of Business Research**, 2022.

SHOURIJEH, P, T,.*et al.* "Application of recycled concrete aggregates for stabilization of clay reinforced with recycled tire polymer fibers and glass fibers", *Construction and Building Materials*, v 355, 2022.

SILVA, J.A.R. **Créditos de Logística Reversa: Atuação e Impactos na Logística Reversa Brasileira e Cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SPINACÉ, M., AURELIO DE PAOLI, M. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

STARR, J.; Nicolson, C. Patterns in Trash: Factors Driving Municipal Recycling in Massachusetts. *Resour. Conserv. Recycl.* **2015**, 99, 7–18.

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, pp. 190-198, 2015.

TURA, N., OJANEN, V., “Sustainability-oriented innovations in smart cities: A systematic review and emerging themes”, In **Cities**, v 126, 2022.

TURNER, I.; HEIDARI, D.; PELLETIER, N., “Life cycle assessment of contemporary Canadian egg production systems during the transition from conventional cage to alternative housing systems: Update and analysis of trends and conditions”, In **Resources, Conservation & Recycling**, v 176, 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME-UNEP, Emissions Gap Report 2018.

VILLALBA, L., USECHE, E., “Methodological approach for the construction of environmental management indicators in universities”, **Cleaner Environmental Systems**, v 2, 2021.

XU, G., WANG, Q., “Chemically recyclable polymer materials: polymerization and de polymerization cycles”, *Royal Society of Chemistry*, v 24, pp.2321-2346, 2022.

WALLACE, K. J., *et al.* “Wellbeing, values, and planning in environmental management”, **Journal of Environmental Management**, v 277, 2021.

WILSON, M., GOLLFINETT, S., “Reverse logistics: Understanding end-of-life product management”, **Business Horizons**, v 21, 2021.