

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Cássio Denis de Oliveira

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE RESÍDUO DE
POLIURETANO E CASCA DE ARROZ**

Santa Maria, RS

2019

Cássio Denis de Oliveira

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE RESÍDUO DE
POLIURETANO E CASCA DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, área de concentração em Gestão Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

Santa Maria, RS

2019

Cássio Denis de Oliveira

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE RESÍDUO DE
POLIURETANO E CASCA DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, área de concentração em Gestão Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 23 de maio de 2019:

Leandro Cantorski da Rosa, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Cristiano Roos, Dr. (UFSM)

Jorge André Ribas Moraes, Dr. (UNISC)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Ao longo do curso de mestrado, no qual foi desenvolvido um compósito de resíduos de poliuretano e casca de arroz, com a finalidade de obter características de isolamento térmico, é seguro afirmar que essa missão foi um dos maiores desafios experienciados em minha vida. Não somente pelos aspectos intrínsecos a uma pesquisa científica, mas a todas as adversidades e dificuldades apresentadas.

Para que isso fosse possível, foi de fundamental importância o apoio, incentivo e ajuda de pessoas que compactuaram com o projeto e contribuíram de modo significativo, por isso se faz justo e necessário que nesse espaço as devidas honras sejam atribuídas a quem é digno e merecedor delas:

- À UFSM (Universidade Federal de Santa Maria) pela oportunidade que me foi concedida para o meu aperfeiçoamento profissional.

- Ao Prof. Dr. Leandro da Rosa Cantorski, pela orientação, empenho, dedicação e entrega no desenvolvimento da pesquisa.

- Agradeço ao Prof. Dr. Jorge André Ribas Moraes pelas incontáveis ações de boa vontade, presteza e apoio nos momentos mais críticos deste projeto.

- Agradeço à UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa), através do Engenheiro Dieison Gabbi Fantineli e o Prof. Dr. Marco Tier, pela disponibilização do laboratório de mecânica aplicada e dos equipamentos e testes pertinentes à pesquisa.

- Agradeço à UNISC (Universidade de Santa Cruz do Sul) por acreditar e apoiar através de uma bolsa de afastamento de atividades, que permitiu tempo hábil para o desenvolvimento do projeto.

- Aos meus amigos e colegas de trabalho e estudo Italo Rosa Policena e Rafael Vogt, pelo companheirismo, apoio e auxílio ao longo de toda essa caminhada.

- Por fim, e não menos importante, agradeço à minha família, à minha esposa Marília Júlia Nery de Oliveira, meus irmãos Luis Fernando de Oliveira e Rafael Eleandro de Oliveira e à minha mãe Senilda de Oliveira. Obrigado pelo apoio e por acreditar em minha capacidade e força de vontade.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE RESÍDUO DE POLIURETANO E CASCA DE ARROZ

AUTOR: CÁSSIO DENIS DE OLIVEIRA
ORIENTADOR: LEANDRO CANTORSKI DA ROSA

Compósitos feitos a partir de fontes renováveis estão substituindo materiais comumente usados em vários segmentos industriais, atendendo na totalidade os requisitos funcionais e estéticos exigidos pelos produtos. Trabalhos com enfoque em técnicas, processos e procedimentos que visem o aprimoramento, desenvolvimento e eficiência dos recursos disponíveis são valorosos e benéficos para comunidade acadêmica. Assim, a presente pesquisa apresenta como objetivo a elaboração de um novo material compósito, utilizando como matéria-prima resíduos de poliuretano (PU), cascas de arroz e resina poliéster, visando atribuir ao material característica de isolamento térmico. A casca de arroz é gerada através do beneficiamento do arroz, o qual representa 20% da massa do grão. Sua aplicação em finalidades específicas são fatores que têm despertado a atenção de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento. O PU é classificado como um termofixo, logo, sua reciclagem não é facilitada, podendo gerar um passivo ambiental. A fabricação e consumo de PU vem aumentando significativamente nos últimos anos em todo o mundo, conseqüentemente, a geração de resíduos também vem aumentando proporcionalmente. Desse modo, foi proposta a fabricação de um compósito a partir da união desses dois resíduos, gerando um material de desempenho satisfatório no que tange ao isolamento térmico, mas também viável e sustentável do ponto de vista das políticas de sustentabilidade. A fabricação do compósito foi norteada pelas estratégias da Produção Mais Limpa (PML) e pela metodologia *Design Science Research* (DSR). Três composições distintas do material foram fabricadas, variando os teores de cada componente. Posteriormente à confecção, testes de condutividade térmica foram realizados nos três tipos de compósitos, sendo possível definir a melhor formatação do material no que diz respeito ao isolamento térmico. Ensaio secundários foram executados, a fim de determinar o índice de dureza do compósito elaborado, obtendo como resultados, a condutividade térmica na ordem de 0,06773 W/mK, dureza de 82,92 HA e densidade de 580 kg/m³. Em proporções de volume, o material foi composto por 50,33% de PU, 42,77% de casca de arroz e 6,90% de resina poliéster. Esses resultados indicam um desempenho satisfatório do material como isolante térmico, porém, sua fragilidade pode ser considerada como um aspecto negativo, sendo um dos limitantes de sua aplicação. Por fim, uma análise de cunho técnico foi realizada, avaliando fatores como a natureza do processo de fabricação, características das matérias-primas e propriedades mecânicas do material desenvolvido. Na mensuração de custos, foram observados os custos de fabricação e custos de obtenção de matéria-prima. Já na avaliação ambiental, foram apontados os fatores de geração de resíduos provenientes em cada estágio do processo de fabricação.

Palavras-chave: Compósito. Isolamento térmico. Poliuretano. Casca de Arroz.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A COMPOSITE WITH POLYURETHANE RESIDUE AND RICE HUSCK

**AUTHOR: CÁSSIO DENIS DE OLIVEIRA
ADVISOR: LEANDRO CANTORSKI DA ROSA**

Composites made from renewable sources are replacing commonly used materials in various industrial segments, fully meeting their functional and aesthetic requirements demanded by the products. Focusing on techniques, processes and procedures aimed at improving, developing and improving the available resources are valuable and beneficial to the academic community. Thus, the present research aims at the elaboration of a new composite material, using as raw material polyurethane (PU) wastes, rice husks and polyester resin, aiming to attribute to the material characteristics of thermal insulation. The rice husk is generated through the processing of the rice, in which it represents 20% of the mass of the grain. Its application in specific purposes are factors that have attracted the attention of researchers from several areas of knowledge. The PU is classified as a thermoset, so its recycling is not facilitated and can generate an environmental liability. The manufacture and consumption of PU has been increasing significantly in recent years worldwide, so waste generation is increased proportionally. Thus, it was proposed the manufacture of a composite from the union of these two wastes, generating a satisfactory material in terms of thermal insulation, but also viable and sustainable from the point of view of sustainability policies. The production of the composite was guided by the strategies of Cleaner Production (PML) and by the methodology Design Science Research (DSR). Three different compositions of the material were manufactured, varying the contents of each component. After the preparation, thermal conductivity tests were performed on the three types of composite, and it is possible to define the best formatting of the material with respect to thermal insulation. Secondary tests were performed in order to determine the hardness index of the material. As results, the coefficient of thermal conductivity was 0,06773 W / mK, hardness index of 82.92 HA and density of 580 kg/m³. In volume proportions, the material was composed of 50,33% PU, 42,77% rice husk and 6,90% polyester resin. These results indicate a satisfactory performance of the material as a thermal insulation, but its fragility can be considered as a negative aspect, being one of the limitations of its application. Finally, a technical analysis was carried out, evaluating factors such as the nature of the manufacturing process, the characteristics of the raw material and the mechanical properties of the material developed. In the cost measurement, the costs of implementation of the manufacturing process and costs of obtaining raw material were observed. In the environmental evaluation were pointed the factors of generation of wastes coming from each stage of the manufacturing process.

Keywords: Composite. Thermal Insulation. Polyurethane. Rice Husck.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos compósitos	17
Figura 2 - Esquema de condução de DSR	33
Figura 3 - Classificação da pesquisa.....	37
Figura 4 - Modelo de DSR adotado no desenvolvimento do compósito	38
Figura 5 - Conformação do compósito	46
Figura 6 - Resultado do teste de condutividade térmica do compósito 1.	53
Figura 7 - Resultado do teste de condutividade térmica do compósito 2.	53
Figura 8 - Resultado do teste de condutividade térmica do compósito 3.	54
Figura 9 - Médias da condutividade térmica dos compósitos 1, 2 e 3	54
Figura 10 - Análise de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do processo de fabricação.	61
Figura 11 - Comparação da condutividade térmica dos compósitos.	64
Figura 12 - Comparação dos valores de dureza dos compósitos.....	65
Figura 13 - Comparação da densidade dos compósitos.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporções em massa dos componentes	44
Tabela 2 - Proporções em volume dos componentes	44
Tabela 3 - Nomenclatura das amostras dos compósitos.....	52
Tabela 4 - Média da condutividade térmica dos compósitos.	55
Tabela 5 - Resultado do teste ANOVA.....	55
Tabela 6 - Resultado do teste de Tukey.....	56
Tabela 7 - Resultado do teste de Duncan.	56
Tabela 8 - Resultado do teste de dureza.....	57
Tabela 9 - Resultado do ensaio de determinação de densidade.....	57
Tabela 10 - Condutividade térmica de materiais comumente usados.	63
Tabela 11 - Condutividade térmica de compósitos alternativos.	63
Tabela 12 - Densidade de materiais isolantes térmicos convencionais.....	65
Tabela 13 - Densidade de materiais isolantes térmicos alternativos.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Identificação do problema	39
Quadro 2 - Identificação das classes de problemas dos artefatos	40
Quadro 3 - Fatores para o desenvolvimento do compósito.....	41
Quadro 4 - Aglomerantes testados.....	42
Quadro 5 - Proporções de matérias-primas usadas em outros compósitos	43
Quadro 6 - Detalhamento do processo de fabricação	47
Quadro 7 - Generalização de classe de problemas	51
Quadro 8 - Custos para fabricação do compósito	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
cm ³	Centímetro cúbico
CV	Cavalo de força
°C	Graus Celsius
DSC	Calorimetria de varredura digital
DSR	<i>Design Science Research</i>
epi	Equipamento de proteção individual
EUA	Estados Unidos da América
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
g	Grama
GPa	Gigapascal
HA	Unidade de medida da dureza Shore A
HDPE	Polietileno de alta densidade
HIPS	Poliestireno de alta densidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>Internacional Organization for Standardization</i>
k	Índice de Condutividade Térmica
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
PBAT	Polibutileno adipato co-tereftalato
PET	Politereftalato de etileno
PLA	Ácido polilático
PML	Produção Mais Limpa
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
R\$	Reais (unidade monetária brasileira)
RPM	Rotações por minuto
RS	Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul
VPL	Valor presente líquido
W	Watt
W/mK	Watt por metro Kelvin

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	16
1.4	ESTRUTURA DO TEXTO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	COMPÓSITOS	17
2.2	ISOLAMENTO TÉRMICO	23
2.3	RESÍDUOS DE POLIURETANO	25
2.4	CASCA DE ARROZ	27
2.5	PRODUÇÃO MAIS LIMPA	30
2.6	<i>DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)</i>	32
2.7	SUSTENTAÇÃO TEÓRICA	35
3	METODOLOGIA	37
3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	37
3.2	MODELO DE DSR ADOTADO	38
3.3	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	39
3.4	DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS	40
3.5	PROJETO E DESENVOLVIMENTO	40
3.6	DEMONSTRAÇÃO	42
3.7	AVALIAÇÃO	48
3.7.1	Avaliação técnica	48
3.7.2	Mensuração de custos	49
3.7.3	Análise ambiental	50
3.8	COMUNICAÇÃO	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	RESULTADO DA AVALIAÇÃO TÉCNICA	52
4.2	RESULTADO DA MENSURAÇÃO DE CUSTOS	58
4.3	RESULTADO DA ANÁLISE AMBIENTAL	61
4.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	62
5	CONCLUSÃO	67
5.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Dentro das áreas de conhecimento da Engenharia de Produção, encontra-se a engenharia da sustentabilidade. Sua finalidade visa ao desenvolvimento de métodos, processos e sistemas, gerando aumento da eficiência dos processos produtivos, e otimizando o emprego dos recursos naturais. De forma ampla, isso ocorre através da destinação e tratamento de resíduos e efluentes, adoção de sistemas de gestão ambiental e responsabilidade social. Com uma perspectiva mais detalhada, pode-se identificar áreas específicas como desenvolvimento sustentável, Produção Mais Limpa (PML) e ecoeficiência (ABEPRO, 2018).

A engenharia evolui através de novas tecnologias que permitem o desenvolvimento de ferramentas e processos. Em paralelo, é identificado o crescimento acentuado dos problemas ambientais do planeta, entre eles, o aquecimento global, a elevação da geração de resíduos, o esgotamento de recursos naturais, a poluição e o aumento da população mundial. Esses fatos resultam no acréscimo de demandas relacionadas à sustentabilidade por parte dos profissionais de engenharia. Além das análises técnicas, estudos de viabilidade e desenvolvimento de projetos característicos da área, habilidades de dimensões econômicas, sociais, ambientais e temporais são exigidas e atribuídas aos futuros profissionais (ALWI, 2014).

Para que as futuras gerações tenham condições e capacidade de atender suas necessidades de consumo, é necessário que na atualidade se obtenha o equilíbrio entre o meio ambiente, economia e sociedade. Nesse sentido, são crescentes as pressões por parte dos consumidores em relação à indústria e seus produtos e processos de fabricação. Além disso, legislações mais rigorosas também caminham no mesmo sentido, induzindo as organizações a adotarem estratégias, políticas e abordagens pertencentes aos sistemas de gestão ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 41).

A PML é uma das estratégias de gestão ambiental que pode proporcionar a maximização e eficiência dos insumos usados na produção de produtos e serviços, podendo gerar melhores índices de produtividade, estimulando as organizações a buscarem ações que gerem menores impactos ambientais (MARZALL, 2015).

Em síntese, essas estratégias têm em vista condições de operações que minimizem a redução de geração de resíduos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, através da reciclagem e reutilização de insumos e matérias-primas empregadas nos processos produtivos. Contudo, o desenvolvimento sustentável envolve o entendimento de que todas as medidas relacionadas ao tema devam estar em sintonia e simultaneidade com o crescimento econômico, não sendo caracterizada por ações que possam ser contrárias ao progresso e lucratividade das organizações (KHALILI et al., 2014).

O descarte inadequado de polímeros é um dos principais responsáveis pela poluição ambiental, sendo que através de tecnologias mais eficientes e tratamentos ecológicos, é possível reduzir ou até mesmo eliminar esse tipo de resíduo, pesquisas com esse foco são elaboradas e encontradas no meio científico (BHARDWAJ; GUPTA; TIWARI, 2013). Como exemplo, o Poliuretano (PU), que é um dos polímeros mais usados no mundo, sua biodegradabilidade é difícil, o que é característico dos termofixos, logo, seu descarte é um problema. Técnicas relacionando processos mecânicos e químicos estão sendo desenvolvidas para a recuperação ou reutilização desse tipo de material (LOREDO et al., 2017). Com o aumento do uso de PU, amplia-se a preocupação com o destino dos resíduos provenientes de seu uso. Alternativas como a incineração, no caso do PU, são descartadas devido às emissões de gases nocivos à saúde durante a sua combustão. Outra alternativa, com menor impacto ambiental, porém demasiadamente cara, é o armazenamento em aterros, visto que, por possuir baixa densidade e pequeno peso específico, o PU ocupa grandes volumes para massas pequenas (GALVÃO; FARIAS; MENDES, 2015).

O PU é um material utilizado no mundo todo, seu uso é justificado por características como baixa densidade, boa resistência, estabilidade dimensional e isolamento térmico. A combinação dessas propriedades possibilita uma ampla gama de aplicações. Diferentes tipos de indústrias usam o PU para variados fins. A indústria de refrigeração, por exemplo, emprega o material como isolante térmico, já a indústria automobilística, por sua vez, insere em estofados e acabamentos de automóveis (KAIRYTE et al., 2018).

No mesmo sentido, o processo de beneficiamento do grão de arroz gera determinados resíduos, um deles, a casca, que quando descartada no meio ambiente, pode levar aproximadamente cinco anos para se decompor. A casca

de arroz corresponde a 20% da produção total do arroz, chegando à casa dos 80 milhões de toneladas desse resíduo ao nível mundial (LORENZETT; NEUHAUS; SCHWAB, 2012). O levantamento sistemático de produção agrícola, afirma que a produção de arroz (em casca) no Brasil, no ano de 2018, foi de 11,5 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul possui uma participação de 70,9% do total produzido, chegando a aproximadamente 8,1 milhões de toneladas de arroz. Em vista disso, é possível mensurar que desse montante, 1,62 milhões de toneladas foram de casca de arroz (AGÊNCIA NOTÍCIAS IBGE, 2018).

O aumento da geração de resíduos, somado à necessidade de novos materiais, cria a demanda por pesquisas nessa área. Assim, o desenvolvimento de materiais compósitos que possuem como matéria-prima resíduos e, visando características como a renovabilidade e versatilidade, são de grande importância. Desse modo, gera-se a promoção da sustentabilidade aliada ao desempenho dos novos materiais (DAS; BHATTACHARYYA; SARMAH, 2016).

A metodologia *Desing Science Research* (DSR) vem sendo desenvolvida no meio acadêmico e científico. Sua finalidade é proporcionar o desenvolvimento de conhecimento de modo que viabilize o projeto de soluções em problemas reais. Dessa forma, ela não está vinculada apenas à pesquisa, mas sim à geração de possibilidades na criação ou melhoria de novos artefatos. A DSR pode ser entendida como um conjunto de técnicas analíticas, permitindo o desenvolvimento de pesquisas em diferentes áreas, inclusive na área da engenharia (MANFIO; LACERDA, 2016).

Diante das constantes pressões sociais relacionadas aos aspectos ambientais, somado à expressiva geração de resíduos de PU e casca de arroz no Brasil, propõe-se nesta pesquisa, o desenvolvimento de um compósito à base de resíduos de PU e casca de arroz. Sendo aplicada a metodologia DSR e as estratégias da PML na condução da pesquisa. Assim, foi objetivado como resultado, um novo material com propriedades satisfatórias correspondentes ao isolamento térmico, passível de aplicação em determinadas situações onde se deseja tal solução.

Sendo assim, pode-se levantar a seguinte problemática: o compósito desenvolvido possui comportamento adequado no que tange ao isolamento térmico?

1.1 JUSTIFICATIVA

Materiais compósitos que empregam resíduos de polímeros como matéria-prima proporcionam a diminuição do impacto ambiental, principalmente quando sua origem provenha de fontes fósseis (BAHARI; KRAUSE, 2016). A renovabilidade e a versatilidade são fatores que norteiam um expressivo número de pesquisas que abordam esse tema. Nesse contexto, a sustentabilidade é fundamentada pelo uso de resíduos nas formulações dos compósitos, bem como características de desempenho similares ou, até mesmo, melhores que os materiais tradicionais almejados. As aplicações para os seus empregos também são discutidas e elencadas em um expressivo número de pesquisas científicas (DAS; BHATTACHARYYA; SARMAH, 2016).

El-Shekeil, Sapuan e Algrafi (2014) enfatizam em seus estudos, o fato de materiais compósitos provenientes de polímeros e fibras naturais serem altamente atraentes, principalmente pela combinação de propriedades mecânicas e físicas atribuídas a esses tipos de compósitos, atenuando o impacto ambiental. Esses fatos têm intensificado as pesquisas relacionadas ao estudo das propriedades e morfologia das fibras naturais.

Grande parte dos polímeros são derivados do petróleo, sendo essa uma fonte de recursos não renováveis, por isso, seu consumo implica em um determinado impacto ambiental, atribuído à extração da matéria-prima, e também ao seu descarte, sendo importante os processos de reciclagem desses materiais. O PU é um polímero empregado em uma ampla gama de indústrias, para diferentes aplicações, devido as suas propriedades mecânicas e de isolamento térmico. Ao longo dos anos, inúmeras pesquisas buscaram aprimorar as características do PU, através da adição de partículas de outros materiais em sua composição, em muitos casos fibras naturais (BASSOYOUNI et al., 2012).

Yam e Mak (2013) observam que além da geração de resíduos resultantes do uso de polímeros, também há uma grande quantidade de resíduos de casca de arroz, que é gerada anualmente, sendo que boa parte dessa massa é incinerada, potencializando o impacto ambiental. Através desses fatos, fica evidente a necessidade de criação de um compósito, no qual esses dois passivos ambientais sejam aproveitados.

A união das propriedades de resíduos de polímeros com fibras naturais é conveniente para a construção de compósitos com aplicações específicas (FORNASIERI, 2010). Alinhado a isso, a demanda por materiais que ofereçam maior isolamento térmico para fins de armazenamento de produtos, que necessitem da manutenção e controle de temperatura vem aumentando. No presente, os métodos de resfriamento de interiores são compostos de sistemas de refrigeração, que disponibilizam a temperatura desejada, e de materiais isolantes que auxiliam na manutenção da temperatura. Materiais de baixa condutividade térmica são os mais indicados para aplicações dessa natureza, sendo alternativas úteis, aliadas com as características de sustentabilidade e redução do impacto ambiental (OUSHABI, et al., 2015).

Pesquisadores e trabalhos científicos abordam esse tema, com foco na busca de novos materiais através do uso de diferentes tipos de resíduos, obtendo como resultado produtos de melhor ou similar performance, comparados com os comumente usados (BASSOYOUNI et al., 2012; JAHANILOMER; FARROKHPAYAM, 2014; SOBROSA et al. 2017; RAZA; RIZVI; DWIVEDI, 2017). Assim, justifica-se a possibilidade de um estudo que desenvolva, teste e avalie um novo compósito com característica de isolamento térmico, empregando resíduos de PU e cascas de arroz.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um compósito com resíduos de PU, casca de arroz e aglomerante, visando características de isolamento térmico, com apoio das técnicas de projeto DSR e das estratégias da PML.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir o processo de fabricação do compósito;
- Avaliar e selecionar a composição com menor condutividade térmica;
- Realizar ensaios de dureza e determinação de densidade na composição de menor condutividade térmica;
- Comparar as características do compósito com materiais de similar natureza e aplicação.

1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O material desenvolvido é destinado para aplicações em revestimentos de recipientes e contentores de isolamento térmico, não sendo objetivado propriedades que habilitam seu uso como material estrutural. No entanto, outras atribuições, nas quais as solicitações mecânicas exigidas sejam atendidas, podem ser elencados para o emprego do compósito.

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

A elaboração do projeto foi dividida em cinco capítulos. No capítulo introdutório são apresentados os assuntos relacionados ao tema, bem como a motivação, a justificativa, a relevância e os objetivos da pesquisa.

Na sequência, foi apresentado o referencial teórico com a exposição de uma série de pesquisas relacionadas ao tema e, através dessas informações, se pretendeu obter a fundamentação desta investigação.

No capítulo 3 foi apresentada a metodologia, onde consta o relato de todos os passos e procedimentos adotados e construídos para a elaboração do compósito. Também foi nessa parte que são gerados os resultados que são analisados e discutidos no capítulo 4 (resultados e discussão).

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões, onde são expostos os conhecimentos e descobertas resultantes da investigação. Nessa parte da pesquisa, foi realizado um confronto entre os objetivos propostos e os resultados alcançados, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

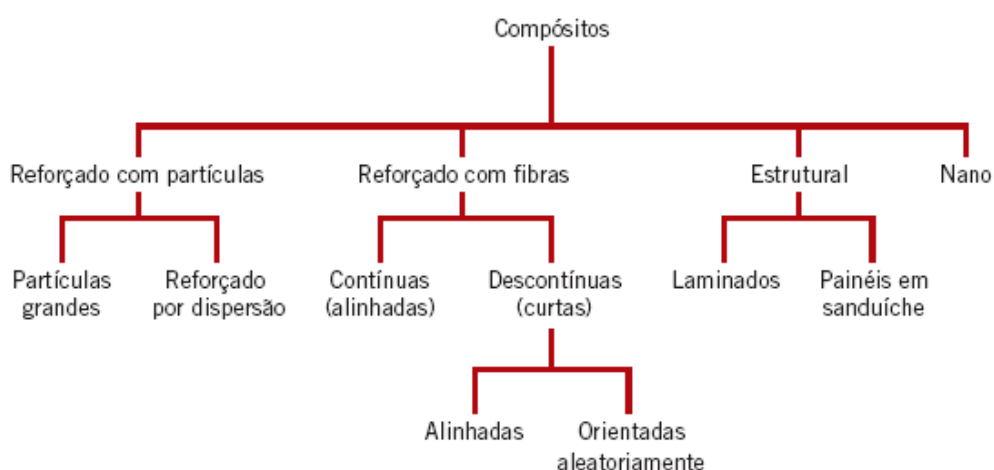
Nesta seção são abordados os assuntos pertinentes às esferas de conhecimento do tema do trabalho. Uma ampla pesquisa nas bases de dados disponíveis foi realizada. Objetivou-se a busca por pesquisas atuais e de relevância, dentro de cada assunto.

2.1 COMPÓSITOS

Para uma compreensão mais ampla e sólida do capítulo, definições de diferentes autores são expostas, bem como uma série de trabalhos científicos relatando experiências e procedimentos pertinentes ao tema.

Um compósito pode ser definido como um material multifásico, elaborado sinteticamente com fases quimicamente distintas e separadas por interfaces. Seu valor está nas possibilidades de combinações e somas de propriedades e comportamento. Certos tipos de compósitos são subdivididos em outros segmentos subsequentes. Fatores como o uso do material, processos e métodos utilizados diferenciam uma família da outra. A Figura 1 ilustra isso (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

Figura 1 - Classificação dos compósitos



Fonte: Callister jr.; Rethwisch, (2016, p. 583).

É correto afirmar que um compósito é uma combinação de dois ou mais materiais, porém, outros fatores devem ser levados em consideração para sua caracterização. As proporções de cada componente devem ser relevantes, ou seja, o elemento de menor quantidade deve possuir índices superiores a 5%. Outro fator está relacionado às fases presentes na composição, elas devem possuir propriedades distintas, desejando a combinação das características. O processo de fabricação de um compósito pode ser englobado por diversos meios e modos (LOPES, 2017).

A ideia de combinar diferentes materiais, visa atribuir as propriedades e comportamentos desejáveis em um material, unindo as características de interesse, resultando em material versátil e útil (SHACKELFORD, 2008).

Os compósitos nasceram através da busca de pesquisadores por materiais com melhores desempenhos, através da união de características de dois ou mais materiais. Normalmente o desenvolvimento das características almeçadas em um compósito, são em função de uma determinada aplicação (BARRETO; CUNHA; MENDES, 2016).

Para a fabricação de compósitos poliméricos, a família dos termoplásticos possui vantagens quando comparados com os termofixos, tendo em vista fatores como reciclabilidade e remoldação. Dentre os vários tipos de termoplásticos, podem ser destacados, para fabricação de compósitos, o polietileno, polipropileno, poliestireno e cloreto de polivinilo. Dentre os polímeros termofixos, os mais utilizados para fabricação de compósitos são os PU, epóxi e poliésteres (VAISANEN et al., 2016).

Wang et al. (2018) elaboraram um compósito com casca de arroz inserido em espumas de PU, o objetivo da pesquisa foi buscar características de isolamento acústico. Proporções de 2%, 5%, 8% em massa foram adicionadas na formação das espumas de PU. Como resultado, foi possível determinar que a adição de casca de arroz aumentou a capacidade de isolamento acústico de baixa frequência, sendo, também, identificada uma pequena diminuição de absorção sonora em altas frequências. A composição com 5% de carga de casca de arroz apresentou os melhores índices de isolamento sonoro.

Otto et al. (2016), tendo em vista obter um compósito de baixo custo, inseriram carga de até 20% de casca de arroz, sisal e bagaço de cana-de-açúcar em espumas de PU. Ensaios mediram as propriedades físicas e mecânicas do

material, sendo obtidos os índices de 0,1 GPa de módulo de elasticidade, 7,32% de deformação plástica e 32% de resiliência. Para o melhoramento das propriedades, um modelo matemático quadrático foi usado. Através desse modelo, foi indicado para o total de carga inserido na espuma de PU uma relação de 82% de casca de arroz e 18% bagaço de cana-de-açúcar. Ao final, pode-se concluir que o material possui características apreciáveis e também um baixo custo de produção.

Aridi et al. (2016) construíram um compósito com casca de arroz triturada, polipropileno e agentes aglomerantes. As proporções testadas foram de 35%, 40%, 45%, 50% e 55% de agente de acoplamento. Os compósitos com carga de 50% apresentaram ótimos índices de resistência à tração, e resistência à flexão, enquanto a amostra com 35% apresentou melhores índices em relação ao módulo de Young e resistência ao impacto. Uma análise em um microscópio de varredura eletrônica foi realizada, onde foi possível verificar que, à medida que houve o aumento de carga de agente de acoplamento, ocorreu o aumento dos espaços vazios na microestrutura.

Face à necessidade de materiais que possuam baixo custo aliado a um menor impacto ambiental, Doan, Brodowsky e Mader (2016) propuseram um compósito com polietileno e polipropileno, juntamente, com cargas de casca de arroz e pó de serra. Um compatibilizador de partículas foi utilizado, que atribuiu um aumento das características de resistência à flexão, à tração, à dureza e ao dilatamento térmico.

Da Silva et al. (2013) construíram um compósito de PU com cinzas de cascas de arroz, devido ao seu alto teor de sílica. A água foi usada como um agente expensor da mistura com a cinza de casca de arroz. Pode-se observar o aumento das propriedades físicas do material, dentre elas, a condutividade térmica, com um índice de 0,1170 W/mK e densidade 56,6 kg/m³.

Antônio et al. (2018) formataram um compósito com fibras vegetais, sendo elas, a casca de arroz e partículas de cortiça expandida. Como aglomerante, foi utilizado espuma de PU. O principal objetivo desse trabalho foi elaborar um novo compósito com bom desempenho em isolamento térmico e acústico. Painéis foram fabricados com as proporções de 50% de PU e 50% de cortiça e 75% PU e 25% de cortiça (proporções em massa) do total de biomassa. As proporções de PU usadas correspondem a 20% da massa total do material. Os resultados

apresentaram índices de isolamento térmico de 0,00743 W/mK, sendo considerado um bom isolante térmico. No entanto, apontaram variações consideráveis dos valores dentro das amostras de mesma proporção. Assim, pode-se concluir que misturas otimizadas e com maior controle e rigor das proporções podem gerar melhores resultados.

Palumbo, Formosa e Lacasta (2015) realizaram um estudo com materiais compósitos provenientes de fontes da subcultura alimentar (resíduo do grão de milho, casca de arroz e palha de cevada) com o foco na análise de suas características de inflamabilidade. Os autores destacaram a importância das comunidades locais buscarem alternativas de insumos, próprios de sua região para utilização em compósitos. Os materiais foram expostos em situações reais de fogo, como uma simulação de incêndio, tendo boa resistência à queima. No entanto, verificou-se que, com o acréscimo de retardadores lignocelulósicos, houve o aumento da resistência à chama.

Akinyemi, Afolayan e Oluwatobi (2016) elaboraram um compósito de serragem e espiga de milho, painéis foram construídos com proporções variando 0%, 25%, 75%, e 100% de ambos componentes, propriedades mecânicas e físicas foram avaliadas, entre elas, determinação de densidade no qual se obteve o valor de 413 kg/m³.

Barcellos, Souza e Selke (2009) inseriram lodo industrial com resina (poliéster) na formatação de um compósito, com o intuito de obter um material isolante térmico a partir de resíduos sólidos, a condutividade térmica do material foi de 0,00161 W/mK e a densidade de 1416 kg/m³.

Binici et al. (2012) propuseram um material compósito empregando resíduos de algodão e resina, propriedades de isolamento térmico foram almejadas, a condutividade térmica do material foi de 2,3000 W/mK.

Chabannes et al. (2014) construíram um compósito de concreto leve com casca de arroz, propriedades térmicas e mecânicas foram avaliadas, a condutividade térmica do material foi de 0,1080 W/mK e a resistência à compressão foi de 33 MPa e a densidade de 364 kg/m³.

Coelho et al. (2011) adicionaram borracha natural com polímero de estireno-butadieno, negro de fumo e mica, propriedades mecânicas foram observadas, entre elas, resistência à tração, rasgamento, densidade e dureza do material, no qual se obteve o valor de 50 HA.

Cravo et al. (2014) usaram resíduos agrícolas, como casca de amendoim e fibra de coco, sua aplicação foi como isolante térmico em forros de aviários, sendo testado a condutividade térmica do material, o valor de 0,2970 W/mK e densidade de 500 kg/m³, os resultados indicaram potencial para aplicação do material como isolante térmico.

Cunha et al. (2013) desenvolveram um compósito de gesso e fibras vegetais, destinados ao emprego de elementos construtivos, propriedades termo físicas foram avaliadas, sendo o valor de condutividade térmica de 0,3400 W/mK.

Dreger et al. (2018) caracterizaram um compósito com laminado de resíduos de PVC (policloreto de vinila) e fibras têxteis, através do teste de dureza (75 HA) e resistência à tração (0,9 kg/mm²), foi verificado que a medida que há acréscimo de resíduos de PVC, houve um decréscimo nas propriedades mecânicas do material.

De Guinoa et al. (2017) construíram um painel compósito a base de aerogel. A condutividade térmica do material foi avaliada, sendo o valor de 0,0150 W/mK, o material se mostrou como um bom isolante térmico e sustentável sob aspecto ambiental. Seu desempenho foi comparado com painéis de poliestireno expandido.

Macedo et al. (2011) construíram um compósito à base de gesso e isopor, sua aplicação foi destinada à construção de casas populares, testes de condutividade térmica (0,2500 W/mK) e resistência à compressão (5,50 Mpa) foram realizados, em relação ao custo de fabricação, o material se revelou mais atrativo que os materiais convencionais usados nas construções, sendo satisfatório seu uso sob o aspecto técnico e econômico.

Casca de arroz, casca de trigo, fibras de madeira e resíduos têxteis foram as matérias-primas de um compósito elaborado por Muthuraj et al. (2019), como elemento ligante foi empregado o polímero PLA (ácido polilático), o processo de fabricação foi por meio de uma prensa quente, foi pretendido o desenvolvimento das propriedades mecânicas e térmicas do material, sendo obtido uma condutividade térmica de 0,0800 W/mK, densidade de 378 kg/m³, resistência à compressão de 11 Mpa e resistência à flexão de 0,8 Mpa, sendo essas características satisfatórias no isolamento interno de edifícios.

Pauleski et al. (2007) avaliaram, em seu estudo, a viabilidade do uso de casca de arroz e fibras de madeira na fabricação de compósitos, como

aglomerante foi selecionado o polietileno de alta densidade, os resultados obtidos indicaram que o material teve bom desempenho quando comparado com aglomerados convencionais, dentre as propriedades avaliadas, a densidade do material foi de 890 kg/m^3 , flexão estática de $0,94 \text{ GPa}$, resistência à tração de $0,24 \text{ MPa}$ e inchamento de $13,87\%$.

Pereira et al. (2016) mediram, em seu estudo, a influência da adição de fibras de bagaço de cana-de-açúcar em compósitos de HIPS (poliestireno de alta densidade) na dureza e resistência ao impacto. A dureza do material foi medida na escala Shore A, sendo obtido o valor de $98,7 \text{ HA}$, como conclusão foi percebido que a adição de fibras não atribuiu melhor desempenho e melhora nas propriedades do material.

Werner e Serafim (2016) realizaram um estudo comparativo entre compósitos de negro de fumo com nanotubos de carbono, dentre os aspectos observados e propriedades analisadas, pode-se destacar a dureza, sendo obtido o valor de 76 HA .

Mendes et al. (2012) elaboram um estudo para determinar a difusividade térmica de um compósito de fibras de coco e reforço de látex, dentre as propriedades avaliadas, a condutividade térmica foi de $0,0420 \text{ W/mK}$ e densidade de 160 kg/m^3 , através desses dados, foi possível classificar o material como isolante térmico.

Rout e Satapathy (2012) fabricaram um compósito com casca de arroz e resina epóxi, a finalidade do material foi o isolamento térmico, a condutividade térmica do material foi medida e o valor obtido foi de $0,2800 \text{ W/mK}$. Foi utilizado o método de elementos finitos para a determinação teórica do isolamento térmico, para a validação do ensaio de condutividade térmica, foi realizada a aferição do método desenvolvido.

Bonelli et al. (2005) elaboraram e avaliaram um compósito de fibra de piaçava e polietileno de alta densidade. Propriedades térmicas e mecânicas foram testadas no material, entre elas, a densidade, sendo medido o valor de 960 kg/m^3 . Foi observado que, com o aumento da fibra de piaçava, as propriedades mecânicas aumentaram.

Zanchet et al. (2007) empregaram resíduos do copolímero butadieno-estireno com resíduos de terpolímero de etileno-propileno-dieno, na elaboração de um compósito elastomérico. A dureza desse material foi medida e obtido valor

de 45 HA. O uso desses materiais permitiu que o compósito pudesse ser vulcanizado em menores tempos, quando comparados a composições de materiais sem resíduos, isso sendo um claro benefício para o processo produtivo.

2.2 ISOLAMENTO TÉRMICO

Quando dois corpos próximos apresentam temperaturas diferentes, ocorre o fenômeno físico chamado de transferência de calor, que consiste no deslocamento de energia térmica entre o corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, ou entre o corpo e o meio externo. Essa transferência acontecerá até o momento que ocorrer o equilíbrio térmico, ou seja, quando os dois corpos possuírem a mesma temperatura (VAN WYLEN; SONNTAG, 2013). Vários fenômenos físicos estão envolvidos durante a transferência de calor, dentre eles, a condução e a radiação são mais comuns de ocorrer. Para a análise de transferência de calor, apenas a energia transmitida influenciará no processo (VIVALDINI et al., 2014).

Um isolante térmico tem a função de diminuir ao máximo a taxa de transferência de calor entre um ambiente ou sistema com o meio externo, resultando na conservação da energia (TORREIRA, 1980).

Alguns fatores são determinantes para um material ser um bom isolante térmico. A densidade é um fator importante a ser observado, pois, a massa de um corpo sólido, normalmente, conduz mais calor que uma massa de ar, logo, um material com alta densidade terá poucas partículas de massa de ar em seu interior, isso contribui para condução de calor entre as partículas sólidas do corpo. Ao contrário, um material poroso, com baixa densidade, oferecerá maiores dificuldades para condução do calor, assim favorecendo o isolamento térmico (FROTA; SHIFFER, 2001).

Um material isolante térmico é selecionado e caracterizado quanto ao seu desempenho, dentre outros fatores, pela condutividade térmica, resistência ao fogo e ao mofo, proteção contra umidade e propriedades físicas. (OUSHABI, et al., 2015). Isolantes térmicos são também selecionados em função de avaliações econômicas, funcionais e de segurança. No Brasil, os principais isolantes térmicos são a lã de vidro, a lã de rocha e o PU (DA ROSA; SHERER, 2018).

A propriedade física que indica o quanto um material é isolante térmico, é a condutividade térmica, e sua unidade de medida é W/mk. Essa grandeza é representada pela letra “k”, onde um material com elevado k é um bom condutor térmico, portanto, é característica dos materiais isolantes térmicos possuírem valores de condutividade térmica menores (GALVÃO; FARIAS; MENDES, 2015). Quanto menor for o índice de condutividade térmica de um material, maior será sua capacidade de isolamento térmico. Por definição, condutividade térmica mede o fluxo de calor constante de um material (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 7).

Conforme o arranjo químico da estrutura dos poros do material, a condutividade térmica poderá sofrer relevantes alterações, sendo importante a escolha das propriedades desejadas para a finalidade proposta. O melhor isolante teórico é o vácuo, no entanto, na prática, há determinada complexidade em obtê-lo. Assim, as estruturas porosas são a alternativa mais viável do ponto de vista técnico (ARCARO, et al.; 2016).

É de comum conhecimento que materiais poliméricos possuem baixa condutividade térmica, por esse motivo, espumas provenientes dessa classe de materiais, são amplamente usadas na indústria da construção civil e de produtos de refrigeração. Porém, há possibilidades de melhoramento desses índices de isolamento térmico, à medida que se insere na composição das espumas poliméricas, cargas de outros materiais, que também contenham características de isolamento, ocorre o aumento de seu potencial de desempenho térmico. Um material possui maior valor quando essas cargas adicionadas são oriundas de resíduos sólidos, outrora sem valor comercial. Combinações dessa natureza, que atribuem melhor desempenho, utilizando em suas composições materiais de cunho de descarte, oferecem vantagens técnicas e econômicas para as organizações (SUPLICZ; HARGITAI; KOVACS, 2016).

Burguer et al. (2016) destacam a importância de materiais com boas propriedades de isolamento térmico no desenvolvimento e aplicações de novas tecnologias. Em confronto a essa ideia, a indústria aeroespacial, aeronáutica e eletrônica, são exemplos de áreas que carecem fortemente de materiais que possuem um alto índice de condutividade térmica. Nesses casos, se deseja que o calor se dissipe o mais rápido possível pela área do material, a fim de não permitir superaquecimento e possível degradação e colapso do material, em

muitos casos, gerando falhas catastróficas. Esse paradigma expõe a importância do conhecimento e da manipulação dos arranjos físicos e químicos dos materiais, em função das características de aplicações correspondentes à transmissão de calor.

2.3 RESÍDUOS DE POLIURETANO

Um problema significativo dentro da indústria de manufatura é a destinação final de matérias-primas que não podem ser reutilizadas no processo fabril. Como, por exemplo, as espumas de PU usadas como isolante térmico em refrigeradores e *freezers*. Sua origem pode ser oriunda de peças defeituosas, sobras do processo e componentes obsoletos. Iniciativas para o aproveitamento desse tipo de resíduo em outras aplicações ou, até mesmo, compondo partes de outros produtos são convenientes (BOM, 2008).

O PU foi um dos primeiros materiais poliméricos a serem processados pelas técnicas de injeção, extrusão e sopro. Sua utilização está vinculada à indústria de transportes, construção de máquinas, equipamentos e revestimentos (PIZZATTO et al., 2008).

O desenvolvimento de polímeros com memória de forma vem ganhando destaque dentro da comunidade acadêmica. Setores como engenharia aeroespacial, biomateriais e engenharia têxtil, têm aumentado o uso de materiais dessa natureza. Sua função de assumir formas temporárias e sobre determinados estímulos (elétrico, calor, magnético) e poder voltar a sua forma original, ganham relevância para o desenvolvimento de projetos e fabricação de produtos. Pelo fato do PU ser um polímero de baixo custo, e possuir propriedades de memória, isso eleva sua importância na atual conjuntura (SATTAR; KAUSAR; SIDDIQ, 2015).

Alameda et al. (2015) desenvolveram uma pesquisa no qual o objeto de estudo foi o uso de resíduos de PU, resíduos de gesso e polipropileno para convecção de placas de gesso acartonado. O processo de fabricação consistiu na fabricação de placas laminadas com ambos resíduos triturados e secos, tendo variado as quantidades de resíduo de PU em 5, 10, 15 e 20%, tal processo não demandou grandes aparatos e tecnologia sofisticada. Através de uma série de ensaios como densidade, resistência à flexão, absorção de água e dureza

superficial, foi possível caracterizar o material e, conseqüentemente, avaliar o seu desempenho, considerado satisfatório e adequado para aplicação destinada à construção civil.

Fornasieri et al. (2010) destacam a utilização de fibras naturais, juntamente com PU, na fabricação de compósitos, com a função de reforçar matrizes poliméricas de termoplásticos. A pesquisa apresenta um compósito de PU com partículas de madeira. Amostras do material foram fabricadas variando 0 a 25% de volume de partículas de madeira. Durante o processo de confecção, as matérias-primas foram trituradas e, posteriormente, peneiradas em granulometrias específicas. Após, foram lavadas por 1h e agitadas a uma temperatura de 80 °C, seguido do processo de secagem em uma estufa até obter estabilidade de volume e massa. Como resultado, não foi observado nenhuma melhora significativa nos aspectos de isolamento térmico.

Bassyouni et. al. (2011) desenvolveram um compósito de PU com resíduos de vidro de lâmpadas, objetivando o uso de fontes renováveis na fabricação do material. As lâmpadas foram coletadas, trituradas e peneiradas, em seguida, secadas a uma temperatura de 110°C durante 2 horas. Ao PU foi adicionado óleo de mamona. Ao fim desse processo, foram preparadas amostras variando a quantidade de vidro triturado entre 5% a 50% de sua proporção. Ensaio de microscopia de varredura, espectro infravermelho e calorimetria de varredura diferencial (DSC) foram realizados. Por fim, pôde-se verificar o aumento das propriedades de dureza, resistência ao desgaste e tensão de ruptura do material.

Marques et al. (2016) apresentam o desenvolvimento de um compósito com PU, resíduos de PET (politereftalato de etileno) e alumina, com a finalidade de atribuir características de isolamento térmico, acústico e resistência à compressão. Corpos de prova foram fabricados com percentuais de 35, 45 e 50% de PET na matriz de PU, e também houve a incorporação de 40% de alumina em relação à massa total. A mistura dos componentes foi vertida diretamente nos moldes específicos de cada ensaio. No que compete ao isolamento térmico, foi possível observar que o material contendo PET apresentou índice de 18% menor que os materiais que não continham PET. Em relação à alumina, não houve acréscimo ou diminuição do comportamento térmico do material.

Tantisattayakul; Kanchanapiya; Methacanon, (2018) realizaram um estudo sobre a destinação de resíduos de PU rígidos, provenientes de refrigeradores obsoletos de um frigorífico, elencando quatro possibilidades, e analisando os efeitos ambientais e econômicos de cada opção de destino. Foram elas: aterros, incineração, aterro de hidrólise e produção de concreto leve. Através da análise do ciclo de vida, no que diz respeito às questões ambientais, a produção de concreto leve demonstrou menor toxicidade, seguindo com a colocação em aterros de hidrólise, aterros e incineração, respectivamente. Do ponto de vista de impacto climático, a colocação em aterros obteve menor índice de exaustão fóssil, seguido pela incineração, aterro de hidrólise e concreto leve, respectivamente. Considerado o emprego de energia durante a fase de uso, a fabricação de concreto leve obteve o menor impacto ambiental e energético. Sob o ponto de vista econômico, foi a única que possibilitou a geração de lucro, tendo um VPL (valor presente líquido) positivo. Em síntese, foi possível concluir que a produção de concreto leve, foi a que apresentou melhores oportunidades nos aspectos ambientais e econômicos.

Nesse mesmo sentido, Cregut et al., (2013) realizaram um profundo estudo sobre as possibilidades de utilização e descarte que oferecem o menor impacto ambiental para os resíduos de PU. Foram considerados, fatores como o aumento significativo do consumo do polímero em escala mundial, e as tecnologias e técnicas aprimoradas e desenvolvidas atualmente. O uso da incineração e deposição em aterros foi descartada de imediato, frente ao seu alto impacto ambiental, tanto na degradação do solo quanto na poluição atmosférica, provenientes de tais processos. Os modos de reciclagem químicos e físicos não se mostraram satisfatórios em requisitos de viabilidade econômica e complexidade de procedimentos, sendo inviável.

2.4 CASCA DE ARROZ

Há evidências do cultivo de arroz há mais de 6 mil anos. Essa cultura ajudou na fundação e desenvolvimento de cidades e civilizações, muitas vezes localizadas às margens de rios, por sua vez, necessárias para a drenagem de água para plantações. Com o advento do capitalismo, o arroz passou a ser uma fonte de renda e lucro, dessa maneira, potencializando e aprimorando as

técnicas de plantio e beneficiamento. A geração de resíduos acompanhou o aumento dos volumes de produção do grão. O resíduo gerado no seu beneficiamento, a casca, é formada por sílica e lignina. A junção desses componentes atribui, entre outras características, um elevado tempo de decomposição, baixa densidade e alta abrasividade (PAULESKI et al., 2007).

O estado do Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores de arroz do nosso país, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais desse grão. Por consequência, o arroz está fortemente inserido na alimentação da população brasileira, sendo um dos alimentos mais consumidos, independentemente da classe econômica (LORENZETT; NEUHAUS; SCHWAB, 2012).

Em países produtores de arroz, como China, Índia, Brasil, EUA, Camboja e Vietnã, há grande abundância da casca de arroz, resíduo proveniente do beneficiamento do grão de arroz, sendo que seu uso e descarte não foram totalmente explorados. Nas usinas processadoras de arroz, é comum a queima da casca para geração de energia elétrica para uso nas instalações das próprias usinas, como iluminação e fornecimento de energia para máquinas e equipamentos. Após a queima, são produzidas cinzas, e seu descarte em aterros promove um alto impacto ambiental. Formas menos agressivas e nocivas ao meio ambiente são de extrema importância, como o uso na fabricação de materiais para construção civil, isolantes térmicos dentre outras aplicações (PODE, 2015).

Na última década, há um notório aumento do interesse de emprego da casca de arroz em diversificadas finalidades, sendo uma delas, na fabricação de compósitos. Isso justificado pelo fato de suas propriedades únicas, como sua relação biodegradabilidade, não toxicidade, baixa densidade molecular, baixo custo e boas propriedades mecânicas (KARGARZADEH; JOHAR; AHMAD, 2017).

Há inúmeras possibilidades de uso para a casca de arroz, dentre elas, o uso na composição de adubo orgânico, devido aos altos teores de lignina que auxiliam no crescimento de plantas e vegetações. Na fabricação de cerveja, a casca pode contribuir no aumento da capacidade de produção do mosto (mistura de ingredientes para fabricação da cerveja), outra possibilidade, é seu emprego como combustível em caldeiras e máquinas térmicas em diversos processos fabris. Na composição e fabricação de carvão, em função da sua capacidade de

absorção através de sua estrutura microporosa. A casca de arroz também pode ser adicionada em rações de animais de estimação, sendo uma importante fonte de fibra em suas dietas. Na construção civil, pode ser inserida na composição de tijolos. No setor de confecção, a casca pode ser inserida em almofadas como preenchimento. E, por fim, a casca de arroz pode ser usada na fabricação de materiais compósitos, aglomerados e painéis (KENECHI; LINUS; KAYODE, 2016).

É característica da casca ser de baixa densidade e elevado volume. Porém, devido a fatores como alta abrasividade, baixas propriedades nutritivas, resistência à degradação, baixa digestibilidade e elevado teor de sílica, a casca de arroz é imprópria para a alimentação animal (FERNANDES, 2015).

Soltani et al. (2014) destacam que a casca de arroz não possui somente potencial como biomassa para geração de energia, mas também oferece valor agregado para produtos. Além disso, os autores elencam motivos pelo qual o uso e aplicabilidade da casca de arroz não são mais difundidos e desenvolvidos: a falta de consciência do agricultor e da indústria sobre o potencial da casca de arroz; problemas socioeconômicos; penetração de tecnologia; falta de preocupação com as questões ambientais.

No estudo de Sobrosa et al. (2017), a sílica de casca de arroz foi utilizada na substituição da argila, em materiais cerâmicos refratários. Os testes foram realizados com variações de volume de 5%, 10% e 20% nos corpos de prova. Fatores como densidade, porosidade, resistência à tração e compressão foram observados. As amostras com volume de 20% demonstraram melhores índices de resistência à tração e compressão. Os materiais que atingiram maior sucesso, foram as amostras com volume de 10%, pois obtiveram aumento da resistência mecânica, sem diminuir a resistência ao choque, a densidade do material foi de 273 kg/m³.

Lee et al. (2003) estudaram a substituição de partículas de madeira por casca de arroz triturada em aglomerados. Analisando as propriedades físicas e mecânicas, foi possível observar que os aglomerados com casca de arroz são de qualidade inferior aos aglomerados de madeira. No entanto, foi notado que pequenas quantidades de casca de arroz (cerca de 5% a 10% em massa) adicionadas, juntamente com as partículas de madeira, não demonstraram diminuição na qualidade dos aglomerados.

Yam e Mak (2013) empregaram o processo de injeção para moldagem de um compósito, formado por casca de arroz e polipropileno, que foram triturados e preparados conforme exigência do processo de injeção. Através da tecnologia de moldagem por injeção, foi possível elaborar o compósito com diferentes proporções de casca de arroz e PU. Através de testes, foi obtido módulo de flexão (1859 Mpa), resistência à tração (27,4 Mpa), resistência ao impacto (26,5 J/m) e alongamento de ruptura de (7,1).

2.5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Os pilares da PML são fundamentados com operações que proporcionam a redução ou extinção de resíduos, tendo influência em um sistema microeconômico. No entanto, o desenvolvimento sustentável trabalha na diminuição de desperdícios ambientais globais, gerando a prosperidade social e econômica, em um nível e alcance macroeconômico, assim evidenciando a íntima ligação entre a PML e o desenvolvimento sustentável (KHALILI et al., 2014).

A nomenclatura da PML foi definida em 1988, pelo UNEP (*United Nations Environment Programme*). Sua aplicação é caracterizada por estratégias de caráter econômico, tecnológico e ambiental de processos e produtos. O seu principal objetivo é elevar a eficiência de utilização de matérias-primas. Com o foco na diminuição de desperdícios durante os processos de fabricação e, quando possível, a não geração de resíduos ou minimização através da reciclagem, gerando benefícios econômicos para as empresas que aderem às estratégias da PML, diminuindo o impacto ambiental, proveniente da operação fabril (MILAN; GRAZZOTIN, 2011).

De Guimarães, Severo e Viera (2016) enfatizam que a PML é um importante meio de viabilização da redução de resíduos e reutilização de produtos e matérias-primas, uma vez que o seu desafio consiste na minimização dos impactos ambientais gerados pelos processos produtivos. Em contrapartida, sem gerar a diminuição de competitividade das organizações. Assim, metodologias, tecnologias e estratégias que resultam na resolução de problemas dessa natureza, ganham destaque no meio científico e industrial. O êxito em sua

aplicação depende da identificação dos fatores que possuem influência no processo.

Yusup et al. (2015) identificam em sua pesquisa, que o principal motivador das organizações adotarem as práticas da PML, é o fato da necessidade do atendimento às normas e regulamentações vigentes. Em outros casos, é motivado pela melhora da sua imagem perante o mercado e aos seus consumidores. Em ambas as situações, não são identificadas uma real preocupação ou importância com as questões de preservação de aspectos ambientais do planeta. Assim, sendo possível sustentar a ideia, de que, caso as práticas da PML não resultarem em benefícios na imagem para as organizações, ou na ausência de penalizações pelo não cumprimento das normas e regulamentações, o número de organizações dispostas em adotar, implementar e desenvolver o tema, seria consideravelmente menor.

Silva, Medeiros e Vieira (2017) afirmam que além dos benefícios do melhoramento da imagem das organizações com a implantação das práticas da PML, é possível obter melhoras consideráveis em seus processos produtivos, inflando sua competitividade no mercado. Os autores indicam o auxílio de ferramentas da qualidade, para potencializar e viabilizar a implementação da PML.

Empresas e organizações que adotam essas estratégias são capazes de fabricar seus produtos com menores quantidades de insumos, energia, matéria-prima e, principalmente, menores volumes de resíduos, resultando na diminuição dos custos de produção e reduzindo o impacto ambiental, dando-lhes uma importante vantagem competitiva (HENRIQUES, CATARINO, 2014).

Souza et al. (2018) enfatizam em seus estudos, a preocupação e atenção da indústria pela busca e desenvolvimento de fontes renováveis livres de substâncias tóxicas. Para aplicação de seus processos, matérias-primas e produtos, onde a PML se apresenta como uma importante e eficaz estratégia no alcance desses objetivos. Dentro desse cenário, a recuperação de resíduos sólidos, é um dos principais fatores a serem trabalhados. Isso justifica a crescente produção científica de artigos publicados relacionados ao tema.

É possível elencar uma série de pesquisas científicas que aplicam o emprego das estratégias da PML na elaboração de compósitos. Sendo um deles o estudo de Osmani (2013), que usou como reforço resíduo de polímero e fibra

de vidro em matrizes de concretos, cimentos e borrachas, atribuindo melhor desempenho mecânico. Da Rosa et al. (2013) substituíram a fibra de vidro por cânhamo orgânico em compósitos, observando a eficiência em aplicações específicas. Fongang et al. (2015) testaram o uso da serragem (resíduo) juntamente com pastas de cimento na fabricação de compósitos, visando à condutividade térmica do material. Caetano, Depizzol e Reis (2017) atribuíram o uso de resíduos gerados pela indústria moveleira em painéis aglomerados, através do auxílio de resinas aglutinantes.

2.6 DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)

A DSR é caracterizada pelo envolvimento de rigorosos processos, esses, por sua vez, focam no projeto do artefato para solução de problemas observados. Desse modo, gerando contribuições, avaliações e comunicação dos resultados (Peffer et al., 2008).

Os artefatos podem ser construções, modelos, projetos ou métodos. Em síntese, um artefato pode ser considerado qualquer objeto projetado para determinada solução de um problema (Peffer et al., 2008).

A DSR tem em vista a íntima aproximação da teoria com a prática, sendo uma de suas características a orientação para solução de problemas específicos (DRESCH, et al., 2015).

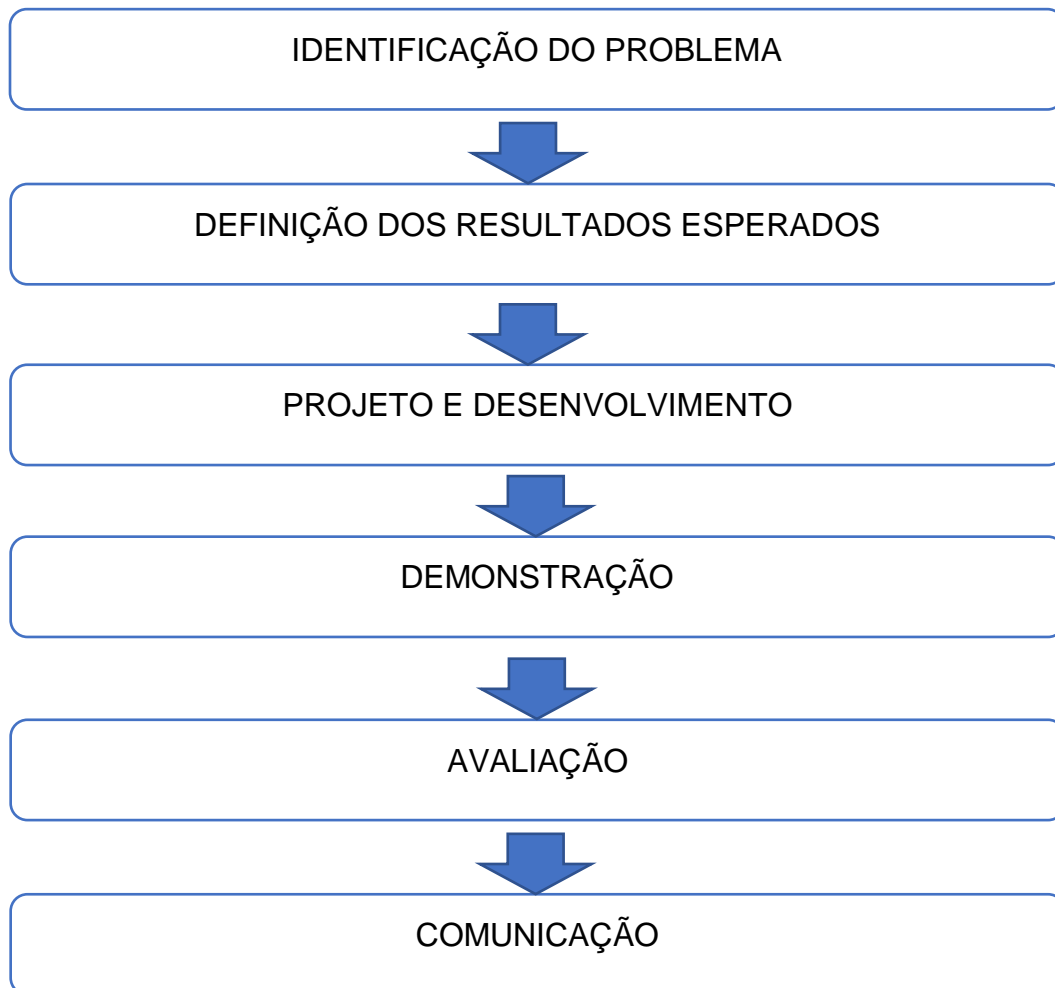
Em alguns casos, não é possível uma solução ótima, mas sim satisfatória. Em contrapartida, as soluções geradas são passíveis de ser generalizadas em classes de problemas, permitindo assim, que outros pesquisadores, em outros trabalhos, possam adotar os conhecimentos gerados (DRESCH, et al., 2015).

Dois fatores possuem fundamental importância para o sucesso da DSR, sendo eles a relevância e o rigor. No caso da relevância, sua importância se destaca nas organizações, visto que os profissionais envolvidos aproveitarão os resultados gerados pela investigação. Já o rigor, é um fator determinante para validação da pesquisa, de modo que na medida do rigor da observação, obtém-se sua confiabilidade (DRESCH, et al., 2015).

Peffer et al. (2008) propõem um modelo de DSR nítido e claro, relacionado aos aspectos metodológicos e de desenvolvimento, sendo

favorecido o entendimento e a aplicação do modelo de forma prática. A Figura 2 retrata o modelo proposto e suas respectivas fases de desdobramento.

Figura 2 - Esquema de condução de DSR



Fonte: adaptado de Peffers et al. (2008, p. 68).

Lacerda et al. (2013) demonstram a abordagem da DSR aplicada especificamente na comunidade da engenharia de produção, através da adoção de métodos de pesquisa que favoreçam a evolução da “ciência de projeto” (*Design Science*), expondo seu sentido e formatos de operacionalização de pesquisas no campo da engenharia.

Vom Brocke et al. (2017) apontam em seus estudos, um conjunto de ferramentas para proporcionar um aporte para a aplicação de DSR. Seu objetivo tem em vista que tais ferramentas possibilitem aos pesquisadores e equipes

condições de estruturação, documentação e atuação na DSR, aumentando a rastreabilidade, colaboração e qualidade de sua aplicação.

Hevner (2007) aborda em seu estudo, o desenvolvimento da DSR em três ciclos. O primeiro é chamado de ciclo de relevância, no qual são elencados os requisitos do ambiente e o contexto inserido, assim permitindo a seleção de testes e artefatos relacionados ao tema da pesquisa. O segundo é chamado de ciclo do rigor, onde são expostos teorias, fundamentos e experiências que possam gerar um novo conhecimento. O terceiro é chamado de ciclo do *design*, nele são construídos e avaliados os artefatos e processos correspondentes ao objeto de estudo. Esses três ciclos, posicionam e diferenciam a DSR das demais metodologias.

Gregor e Hevner (2013) afirmam que a DSR ainda não atingiu seu potencial de maneira plena e completa, isso devido à falta de compreensão e aplicação de seus conceitos. Para isso, são propostas uma série de orientações que favorecem um melhor entendimento, dentre elas: avaliação de níveis de generalizações dos artefatos que podem ser adaptados a DSR; desenvolver métodos facilitadores de extração e uso de conhecimentos e informações contidos em outros trabalhos científicos; entender e posicionar as contribuições de conhecimentos dos projetos de pesquisa; produzir artigos estruturados na metodologia, enfatizando a produção de conhecimento através da DSR.

De maneira contrária, Venable, Pries-Heje e Baskerville (2014) indicam que as informações e conhecimentos existentes na literatura sobre a DSR, são suficientes para sua aplicação e implementação. De modo a contribuir com o progresso do conhecimento, a pesquisa aborda formas e funções de utilidade de uso.

Para a condução de uma pesquisa através da DSR, o primeiro passo é a execução da fase de conscientização. Nesse momento, é compreendido o problema, sendo necessário a busca da maior quantidade de informações possíveis sobre o tema e particularidades relacionadas. A projeção do que se espera dos artefatos e levantamento de requisitos são pertencentes a essa fase. A fase de revisão ocorre de modo simultâneo, de forma que um processo complementa o outro. Posteriormente, os artefatos são conhecidos e os problemas são classificados em classes, isso dando um grau de nitidez aguçado ao panorama da pesquisa. Na continuação, chega-se a fase de preposição, onde

a criatividade tem fundamental importância para consolidação das propostas de soluções possíveis. Na sequência da fase de proposição, o projeto é realizado, onde todo planejamento dos procedimentos e processos são preparados. Com o planejamento executado, inicia-se o desenvolvimento que, em suma, trata-se da execução do planejamento realizado. Posteriormente, uma avaliação é realizada, considerando o comportamento obtido dos artefatos, confrontado com o comportamento esperado. Analiticamente, as aprendizagens e conclusões são extraídas e evidenciadas, indicando importantes referências e resultados para futuras pesquisas, bem como exposição das limitações e dificuldades pertencentes ao tema. Por fim, é verificada a possibilidade de generalização dos artefatos e métodos de construção da pesquisa, tentando gerar padrões assertivos. Como método de disseminação do conhecimento gerado, o projeto é orientado, formatado e comunicado através de artigos, dissertações e teses, sendo essa fase denominada de comunicação (HEVNER 2007, GREGOR; HEVNER, 2013; VENABLE; PRIES-HEJE; BASKERVILLE, 2014; DRESCH, et al., 2015).

2.7 SUSTENTAÇÃO TEÓRICA

Diante da revisão da literatura realizada nessa seção, algumas conclusões e constatações podem ser feitas a respeito de aspectos práticos relacionados a fatores como testes, ensaios e características comuns entre as pesquisas de similar natureza consultadas. Através dessas observações, foi possível sustentar ações e escolhas realizadas nos capítulos posteriores da pesquisa.

No que compete a avaliação do isolamento térmico em materiais compósitos, foi observado o emprego do teste de condutividade térmica na totalidade das pesquisas estudadas. Outros testes foram comuns entre as pesquisas acessadas, dentre eles, podem ser citados os testes de resistência à flexão, à tração, à compressão, à determinação de densidade, dureza e absorção de água. Alguns testes foram menos comuns. De todo modo, foram registrados, dentre eles, o teste de inflamabilidade, absorção ao impacto, teste de rasgamento e análise metalográfica em microscópio de varredura eletrônica.

Em relação aos processos de fabricação, foi comum a identificação do emprego de etapas como trituração, prensagem e aquecimento em forno.

Nos compósitos que possuíam em sua formatação polímeros termofixos, na maior parte dos trabalhos, foi empregado o uso de agentes aglomerantes como resina poliéster e epóxi, diferente dos casos dos compósitos que possuíam em sua composição polímeros termoplásticos. Nesses casos, isso não foi observado, mas em contrapartida, foi verificado o uso da combinação simultânea dos processos de prensagem e aquecimento.

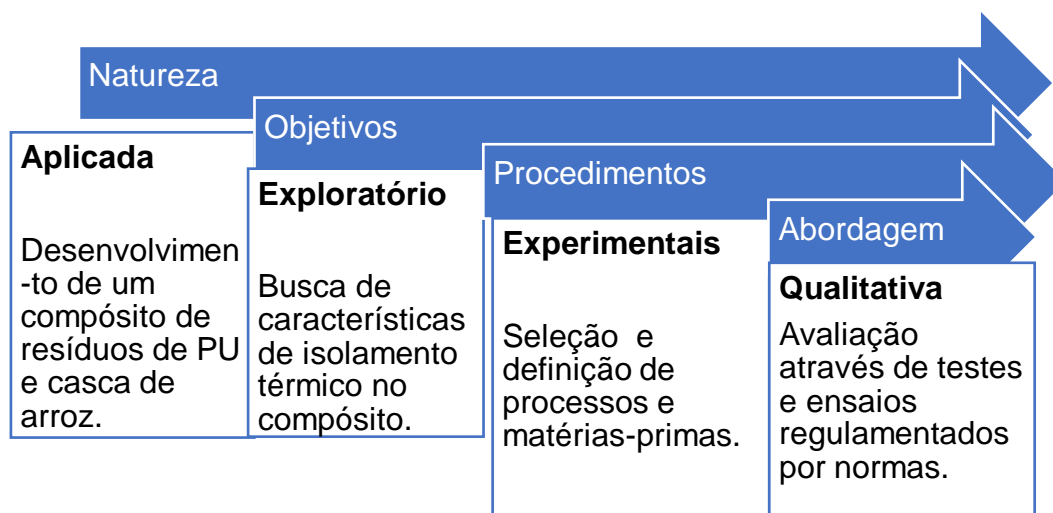
3 METODOLOGIA

Este capítulo teve como finalidade, descrever e detalhar os processos planejados e desenvolvidos na elaboração do compósito. Assim, expondo todos os critérios, testes, procedimentos, equipamentos e normas, demonstrando a veracidade, repetibilidade e confiabilidade dos experimentos.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para melhor entendimento do desenvolvimento da pesquisa, a Figura 3 mostra as relações das classificações com o tema abordado.

Figura 3 - Classificação da pesquisa



Fonte: Autor (2018).

Sob o ponto de vista da natureza, a presente pesquisa foi classificada como aplicada, por seu cunho prático, direcionado a um problema específico. Em relação aos objetivos, é de caráter exploratório, visto que envolve um levantamento bibliográfico, análises e inferências, proporcionando maior compreensão do tema. Os procedimentos adotados foram caracterizados como experimentais, diante da possibilidade de seleção de variáveis que possuíam poder de influenciar ou manipular o objeto de estudo apontado. Por fim, a abordagem da pesquisa foi quantitativa, isso devido ao fato dos critérios de análises e avaliações serem passíveis de mensuração e medição, através de métodos estatísticos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

3.2 MODELO DE DSR ADOTADO

Dentro da literatura científica existem diferentes modelos de condução da DSR. Neste projeto foi selecionado o modelo elaborado por Peffers et al., (2008), o qual possui maior identificação com a pesquisa, a Figura 4 mostra o modelo.

Figura 4 - Modelo de DSR adotado no desenvolvimento do compósito



Fonte: Adaptado de Peffers et al., 2008.

De modo aplicado, a identificação do problema foi caracterizada pela constatação da geração de resíduos de PU e casca de arroz, no qual há significativa carência em aplicações para ambos materiais. Na etapa de definição dos resultados esperados, foi proposto a obtenção de um compósito com os resíduos de PU, casca de arroz e agente aglomerante, objetivando a busca por propriedades de isolamento térmico desse novo material.

Na etapa de projeto e desenvolvimento, foi levantado questionamentos necessários para a fabricação do material. Na fase de demonstração, foi realizada a execução e fabricação dos compósitos previamente elencados na fase de desenvolvimento. Na fase de avaliação, inicialmente foram observados os aspectos técnicos do material, com destaque para as propriedades de isolamento térmico do compósito, testes estatísticos foram necessários para

apoiar e sustentar a escolha da melhor opção do compósito, também foram verificados fatores como dureza e determinação de densidade. Seguindo na fase de avaliação, uma mensuração de custos do material foi realizada. Por fim, um fluxograma relacionado à geração de resíduos durante o processo de fabricação do compósito foi elaborado, observando as questões ambientais, finalizando a fase de avaliação.

Na fase de comunicação, foi organizada uma generalização das soluções obtidas durante o processo de desenvolvimento do compósito, sendo essa etapa adaptada de modo diferente ao modelo original de DSR adotado.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Essa etapa foi concentrada na busca de informações a respeito do problema, visando um entendimento pleno e claro de seu contexto, o Quadro 1 mostra essas informações.

Quadro 1 - Identificação do problema

Problema	- Empregar resíduos de PU e casca de arroz na fabricação de um compósito
Função do artefato (compósito)	- Obter isolamento térmico entre um meio externo e um interno
Requisitos de funcionamento	- Baixo valor de condutividade térmica - Boas propriedades mecânicas - Material estável
Facilitadores da pesquisa	- Processos de fabricação não complexos - Uso de baixa quantidade de energia - Baixo custo de produção
Recursos disponíveis	- Estrutura laboratorial, equipamentos/máquinas de ensaio - Base de dados de artigos científicos e normas

Fonte: Autor (2019).

É importante destacar que, dentro da metodologia da DSR, o termo artefato é amplamente usado. Um artefato pode ser considerado um constructo, modelo, método ou *design propositions*. Na presente pesquisa, o artefato é classificado como um constructo e um método. O constructo foi identificado pelo compósito elaborado com resíduos de PU, casca de arroz e aglomerante. O método é apontado pelo processo desenvolvido para a fabricação do compósito. A partir da configuração do artefato, as classes de problemas podem ser identificadas. Através do Quadro 2, foi possível visualizar os artefatos e suas classes de problemas.

Quadro 2 - Identificação das classes de problemas dos artefatos

Classe de Problema	Artefato
Sequenciamento de Produção	Processo
Mapeamento de Processos	Processo
Mensuração de Custos	Compósito
Estrutura	Processo
Requisitos	Compósito

Fonte: Autor (2019).

3.4 DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS

Através do uso de resíduos de PU, casca de arroz e aglomerante, buscou-se a obtenção de um material compósito com propriedade de isolamento térmico apreciável, quando comparado com materiais compósitos de similar natureza. Para isso, se pretendeu que o material possuísse o menor valor de condutividade térmica. Também foi objetivado a seleção dos processos de fabricação necessários para a construção do material, e parâmetros pertinentes ao processo.

3.5 PROJETO E DESENVOLVIMENTO

A fase de projeto e desenvolvimento objetivou o planejamento da fabricação do compósito. Para isso, foi elencado fatores pertinentes ao desenvolvimento, como a definição do aglomerante empregado, as proporções

dos componentes de cada compósito, os processos de fabricação adequados, parâmetros relacionados ao processo e equipamentos. O Quadro 3 aborda as questões elaboradas na fase de projeto e desenvolvimento, vinculando as ações necessárias para as soluções de cada questionamento.

Quadro 3 - Fatores para o desenvolvimento do compósito

Questão a ser definida	Ação
Definição do aglomerante	- Realizar testes com diferentes tipos de aglomerantes, e selecionar o de melhor desempenho
Definição das composições do material	- Determinar as proporções de cada componente, através de experiências em pesquisas similares
Processos de fabricação necessários	- Avaliar e selecionar os processos adequados para a fabricação do material compósito
Equipamentos	- Verificar e relacionar os equipamentos, acessórios e ferramentas necessárias, em função dos processos selecionados
Parâmetros dos processos	- Verificar configurações e regulagens dos equipamentos, cuidados e observações de cada processo
Aquisição da matéria-prima	- Definir os fornecedores das matérias-primas necessárias para a construção do compósito

Fonte: Autor (2019).

Os fatores listados no Quadro 3 foram executados na fase de demonstração, na qual é detalhada a resolução de cada questão levantada na fase de projeto e desenvolvimento.

3.6 DEMONSTRAÇÃO

Para fabricação do compósito, algumas definições e testes preliminares foram necessários, a fim de obter métricas e parâmetros para a efetiva proposta de composição do material. A partir da definição do uso de resíduos de PU e casca de arroz como matéria-prima do compósito, testes experimentais foram realizados com uma série de aglomerantes. Nesses testes, porções de resíduo de PU e casca de arroz foram misturadas com cada tipo de aglomerante, respeitando as características e orientações especificadas pelos fabricantes de cada produto. A avaliação foi realizada de modo qualitativo, observando fatores como estabilidade, quantidade e tempo de cura. O Quadro 4 lista todos os aglomerantes utilizados nos testes preliminares, e relata o comportamento de cada aglomerante testado.

Quadro 4 - Aglomerantes testados

Aglomerante	Comportamento
Borracha de silicone alta flexibilidade (rosa)	- Amostra se revelou estável, porém altas quantidades de aglomerante foram necessárias, obteve-se características elastoméricas
Borracha de silicone média flexibilidade (branca)	- Pouca estabilidade, fragmentação e fissura de partículas
Borracha de silicone baixa flexibilidade (vermelha)	- Amostra ficou estável, entretanto, altas quantidades de aglomerante foram necessárias, obteve-se características elastoméricas baixas
Resina epóxi	- Apresentou boa estabilidade, no entanto, elevado tempo de cura
Cola PVC	- Amostra instável
Resina poliéster	- Apresentou boa estabilidade e baixo tempo de cura, as amostras ficaram rígidas
Cola de madeira	- Não interagiu com o resíduo de PU e casca de arroz

Fonte: Autor (2019).

Após esse experimento, foi possível selecionar com segurança a resina poliéster como a melhor opção para uso como aglomerante do compósito. Sendo assim, eleita como uma das matérias-primas.

Definidas todas as matérias-primas do compósito, o próximo estágio aspirou à definição das proporções de cada componente em cada compósito. O Quadro 5 mostra as proporções contidas em materiais desenvolvidos por outros autores.

Quadro 5 - Proporções de matérias-primas usadas em outros compósitos

Autor	Proporções
(SOUZA et al., 2018).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 7%, a 13% de aglomerante
(ARCHANGELO et al., 2017).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 10% a 30% de casca de arroz
(RAZA; RIZVI; DWIVEDI, 2017).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 10% a 40% de casca de arroz
(SOBROSA et al., 2017).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 5%, a 20% de casca de arroz
(HASAN, 2016).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 10% a 30% de casca de arroz e 70% a 90% de aglomerante
(AZEVEDO et al., 2016).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 10% a 30% de casca de arroz
(GRYCZAK, 2016).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções de 20% de aglomerante
(DA ROSA et al., 2015).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 4% a 52% de casca de arroz e 20% a 30% de aglomerante
(JAHANILOMER; FARROKHPAYAM, 2014).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 30% a 60% de casca de arroz
(BASOYONI et al., 2012).	- Foi utilizado em suas amostras as proporções entre 5% a 50% de PU

Fonte: Autor (2019).

Baseado nesses dados, foi realizado um plano de amostras, propondo-se três versões do compósito, variando as quantidades de resíduos de PU, casca de arroz e resina poliéster em cada compósito. A Tabela 1 mostra o plano relacionando as massas de cada componente.

Tabela 1 - Proporções em massa dos componentes

Compósito	PU (%)	Casca de Arroz (%)	Resina Poliéster (%)
1	5	30	65
2	10	40	50
3	15	2	83

Fonte: Autor (2019).

A Tabela 2 mostra a relação dos componentes em volume.

Tabela 2 - Proporções em volume dos componentes

Compósito	PU (%)	Casca de Arroz (%)	Resina Poliéster (%)
1	34,82	49,30	15,88
2	50,33	42,77	6,90
3	85,24	1,80	12,96

Fonte: Autor (2019).

Definidas as proporções dos compósitos, foi desenvolvido o processo de produção do material. Novamente, testes preliminares foram realizados, a fim de obter informações e verificações a respeito do comportamento do compósito.

A primeira etapa a ser observada e avaliada foi a trituração, tanto do resíduo de PU quanto da casca de arroz.

Os resíduos de PU foram adquiridos na forma de placas, em diversos tamanhos, espessuras e formas, sendo necessário um processo homogeneizador das partículas. Assim, justificando a trituração desse componente para a confecção do compósito.

Para a casca de arroz, testes preliminares foram elaborados, amostras com cascas *in natura*, e amostras com as cascas trituradas foram fabricadas. Qualitativamente, foi observado que houve maior aglomeração e homogeneização dos corpos de prova que possuíam a casca de arroz triturada.

Desse modo, foi definido o uso da etapa de trituração para esse componente, a exemplo do resíduo do PU. Além da definição da etapa, também se selecionou a granulometria mais adequada para a finalidade proposta. O critério adotado para a seleção do tamanho de partícula foi apoiado em dois pontos, sendo eles: o resíduo de PU e a casa de arroz devem possuir o mesmo tamanho de partícula; o outro critério adotado, prevê que a partícula não possa ser pequena ao ponto de ser pulverizada, ficando instável, e não tão grande ao ponto de não obter homogeneidade na geometria. Através desses critérios, foi indicado o uso de partículas de tamanho de 18 mesh, valor esse, dentro da faixa de granulometria verificada nas pesquisas de similar natureza. O equipamento usado para a trituração foi um moinho de facas do tipo *willey*, da marca Eco Educacional. A rotação configurada para o processo foi de 250 rpm e a peneira de 18 mesh. O equipamento pertence ao laboratório de Processos Químicos e Operações Unitárias, do curso de Engenharia Química da UNISC (Universidade de Santa Cruz do Sul).

O uso da etapa de aquecimento em forno foi testado de modo experimental, com o objetivo de verificar o comportamento do material elaborado. Como resultado, foi observado que a temperatura máxima permitida foi de 250 °C e o tempo de 10 minutos, sendo que temperaturas e tempos maiores carbonizaram o material, atribuindo um comportamento de extrema fragilidade. Como benefício, foi observada a diminuição do tempo de cura do material, e após análise, a etapa foi definida como não necessária, sendo a cura do compósito realizada em temperatura ambiente.

Para a medição das massas de cada compósito, foi utilizada uma balança analítica da marca Gehaka, modelo BK 6600. Os compósitos foram medidos no laboratório de Metalurgia Física do curso de Engenharia de Produção da UNISC (Universidade de Santa Cruz do Sul).

A etapa de prensagem também foi avaliada, a mesma atribuiu maior compactação e estabilidade ao compósito, porém, sua densidade e massa

específica aumentaram, sendo esses fatores não desejados. Diante disso, foi decidida a sua não utilização.

A etapa de combinação dos componentes foi definida em uma sequência lógica. Primeiramente, uniu-se o resíduo de PU e a casca de arroz, ambos já triturados. Após a homogeneização, foi adicionada a resina poliéster, de maneira gradativa e constante. Imediatamente após a mistura da resina, iniciou-se o processo de conformação, sendo possível modificar a geometria, forma e dimensão através de ajustes nos moldes selecionados. Os moldes foram fabricados em madeira, com dimensões no seu interior de 200x200x20 mm.

O compósito foi acomodado e conformado no interior do molde, sem a utilização de métodos de prensagem. A Figura 5 mostra a etapa de conformação.

Para efetivação plena da cura do material, foi necessário um tempo mínimo de 4 horas. Após, foi possível realizar a retirada do material. Esse processo ocorreu através da remoção individual de cada aresta do molde, desmontando 4 partes de contenção do material, permitindo a retirada integral da chapa do compósito.

Figura 5 - Conformação do compósito



Fonte: Autor (2019).

O Quadro 6 resume as etapas para a elaboração do compósito. Nele constam as informações relacionadas à obtenção da matéria-prima e sequenciamento dos processos.

Quadro 6 - Detalhamento do processo de fabricação

Obtenção da matéria-prima	<ul style="list-style-type: none"> - Casca de arroz obtida em plantações da região do vale do Rio Pardo - RS - Resíduos de PU adquiridos junto a empresa de refrigeração de Venâncio Aires - RS - Resina Poliéster comprada em lojas especializadas em Santa Cruz do Sul – RS
Trituração	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: 18 mesh - Equipamento utilizado: Moinho de facas, tipo Walley, marca Eco Educacional
Pesagem das proporções	<ul style="list-style-type: none"> - Balança analítica BK 6600
Combinação dos componentes	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais: combinar resíduo de PU com a casca de arroz - Aglomerante: Inserir resina poliéster
Conformar	<ul style="list-style-type: none"> - Acomodação da mistura no interior do molde
Retirada	<ul style="list-style-type: none"> - Superior a 4 horas

Fonte: Autor (2019).

A aquisição da matéria-prima foi provida em distintos lugares. O resíduo de PU foi cedido por empresas fabricantes de produtos de refrigeração na cidade de Venâncio Aires - RS. A casca de arroz foi concedida por diferentes agricultores do vale do Rio Pardo. A resina poliéster foi adquirida em lojas especializadas em Santa Cruz do Sul - RS.

3.7 AVALIAÇÃO

O material desenvolvido foi avaliado em caráter técnico, econômico e ambiental. Na avaliação técnica, foi realizado o ensaio de condutividade térmica. Para o compósito de menor valor de condutividade térmica, foram feitos testes de dureza e de determinação da densidade do material. Outros testes foram identificados como importantes para projetos dessa natureza, conforme verificados anteriormente na revisão bibliográfica, porém, tais testes não foram realizados na presente pesquisa por limitação de recursos disponíveis.

Uma mensuração de custos de fabricação do material foi efetuada, observando os insumos e as matérias-primas necessárias para a fabricação do material.

Por fim, observações e constatações relacionadas aos resíduos gerados pelo processo de fabricação do compósito caracterizaram a análise ambiental.

3.7.1 Avaliação técnica

Na avaliação técnica, o isolamento térmico foi o principal fator a ser observado, sendo necessário o teste de condutividade térmica do material.

O teste de condutividade térmica foi realizado nos três compósitos, sendo fabricados três corpos de prova de cada composição, nas dimensões de 200x200x20 mm. Os testes foram realizados em outubro de 2018 na UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa), no laboratório de Mecânica Aplicada do curso de Engenharia Mecânica. O equipamento utilizado foi condutivímetro da marca LaserComp modelo MOD 304. O *software* de aquisição de dados foi *WinTherm 32 v3*, a norma usada foi a ASTM C518-04: “*Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow meter Apparatus*”. Através desse ensaio foi possível medir a condutividade térmica de cada compósito.

Os compósitos foram testados individualmente. Durante os testes, para cada corpo de prova, foram realizadas dez medições, sendo que ao final se obteve a média da condutividade térmica de cada corpo de prova.

O estudo de análise de variância (ANOVA) foi utilizado, com a finalidade de verificar se as médias dos valores de condutividade térmica dos compósitos

testados possuíam diferença significativa entre si. Este estudo é um importante método para verificar diferenças entre as médias populacionais.

Dentro da testagem de hipótese e significância de variância, as médias dos compósitos foram comparadas, com o uso do teste de Tukey e do teste de Duncan, ambos com um nível de significância de 0,05. O *software* usado para os cálculos e processamento dos dados foi o *Statistica Statsoft*. Essa análise teve por finalidade, auxiliar na comparação individual dos compósitos analisados, estabelecendo diferenças significativas ou não nos ensaios de condutividade e na possibilidade de o estudo ser continuado com o compósito que apresentou menor condutividade térmica, possibilitando, na sequência, a realização dos ensaios de dureza e determinação de densidade.

Para realização do teste de dureza, foi usada a norma ASTM D2240-15: “*Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*”. Três corpos de provas foram fabricados, com diâmetro de 50 mm e altura de 20 mm cada. Foram efetuadas seis medições de dureza SHORE A em cada corpo de prova. Os testes ocorreram na UNISC (Universidade de Santa Cruz do Sul), no laboratório de Metalurgia Física do curso de Engenharia de Produção. O equipamento utilizado nos testes foi um durômetro da marca Starret modelo 3805 B.

Para determinação da densidade, foi utilizada a norma ABNT 14810-2: “Painéis de partículas de média densidade - parte 2: requisitos e métodos de ensaio.” Os corpos de prova possuíam dimensões de 50x50x50 mm e foram ensaiados em triplicata. Para a medição dos corpos de prova, foi usado um paquímetro da marca Mitutoyo com resolução de 0,02 mm e, para medição de massa, uma balança analítica da marca Gehaka, modelo BK 6600.

Posteriormente aos testes, ainda na análise técnica, fatores como o processo de fabricação, matérias-primas, equipamentos, acessórios e demais procedimentos pertinentes à fabricação, são observados e comentados.

3.7.2 Mensuração de custos

Nessa etapa foi elaborada uma estimativa de custos relacionada à fabricação do compósito. Nela foram considerados os custos das matérias-primas, insumos e energia elétrica necessárias para confecção do material.

Fatores como mão-de-obra, aquisição de equipamentos, custos de estrutura, impostos e demais itens pertinentes à fabricação não foram contabilizados.

A finalidade desse levantamento foi obter parâmetros básicos e iniciais de caráter econômico, relacionando o custo de produção com a quantidade de material produzido, obtendo uma relação de “custos x quantidade” do compósito. O estudo realizado não obteve como foco a análise de viabilidade ou avaliação econômica da comercialização e produção do material.

3.7.3 Análise ambiental

Foram observadas as entradas (matérias-primas) e saídas (resíduos) de cada etapa do processo de fabricação, sendo possível verificar quais etapas geraram resíduos. Durante todo o desenvolvimento do projeto foi buscado obter um processo de fabricação que oferecesse a menor geração de resíduos, e quando possível a não geração.

Assim, sendo possível relacionar as matérias-primas, o processo de fabricação e resíduos gerados, isso auxiliou na visualização e na identificação dos processos mais críticos da fabricação do material compósito, sob o viés das questões ambientais.

3.8 COMUNICAÇÃO

A metodologia DSR foca sua atenção no desenvolvimento de artefatos que possibilitem resoluções adequadas para problemas específicos, na presente pesquisa, os artefatos podem ser identificados como o compósito a ser fabricado e ao processo de fabricação a ser desenvolvido. A fase de sugestão de solução pode ser facilitada e enriquecida quando é possível extrair informações relacionadas às soluções em pesquisas anteriores. Por isso, é importante a generalização das classes de problemas. Assim, através da identificação de similaridades de problemas, soluções mais assertivas podem ser encontradas de modo mais ágil e rápido. Desse modo, gerando informações importantes e úteis para futuras pesquisas, favorecendo o avanço da ciência e do conhecimento. O Quadro 7 demonstra aspectos possíveis de serem generalizados.

Quadro 7 - Generalização de classe de problemas

Classe de Problema	Artefato	Generalização
Sequenciamento de Produção	Processo	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenção da matéria-prima - Preparação da matéria-prima - Construção do compósito
Mapeamento de Processos	Etapas do Processo	<ul style="list-style-type: none"> - Trituração - Combinação - Conformação - Retirada
Mensuração de Custos	Compósito e Processo	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação do processo - Priorização por procedimentos simplificados
Estrutura	Processo e Equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Moinho de facas - Balança - Molde - Misturador
Requisitos	Compósito	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo índice de condutividade térmica - Estabilidade de forma e dimensão - Baixo custo de operação e fabricação - Facilidade da disponibilidade de matéria-prima

Fonte: Autor (2019).

A relação estabelecida entre as classes de problemas, artefatos e generalização elencadas na presente pesquisa podem contribuir de modo prático no desenvolvimento de outros materiais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atribuir propriedades de isolamento térmico foi a principal característica almejada no desenvolvimento do compósito. Para isso, foi necessário analisar os resultados obtidos nos testes de condutividade térmica, dureza e densidade. Posteriormente, os resultados foram comparados e confrontados com outros materiais de similar aplicação e natureza.

Para melhor entendimento e clara visão dos resultados obtidos na pesquisa, a apresentação dos resultados se distribuiu da seguinte maneira:

- Apresentação dos resultados obtidos nos testes, análise de fatores relacionados ao compósito, matéria-prima e processos de fabricação;
- Apresentação da mensuração de custos para a fabricação do material;
- Apresentação do fluxograma referente à análise da geração de resíduos durante o processo de fabricação do material;
- Discussão dos resultados obtidos e comparação com outras pesquisas.

4.1 RESULTADO DA AVALIAÇÃO TÉCNICA

Compósitos com três formulações diferentes, denominados 1, 2 e 3 (Tabelas 1 e 2) foram testados em relação à condutividade térmica. Foram preparados três corpos de prova de cada uma das três formulações. Foram feitas dez medições de condutividade térmica em cada corpo de prova, identificados conforme consta na Tabela 3.

Tabela 3 - Nomenclatura das amostras dos compósitos

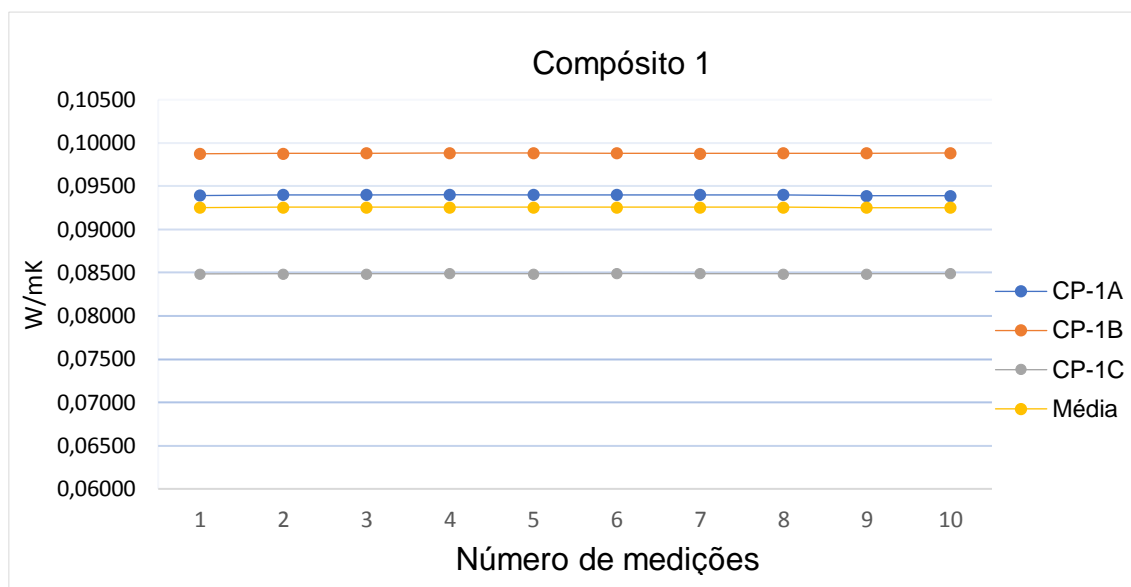
	Corpo de prova A	Corpo de prova B	Corpo de prova C
Compósito 1	1 - A	1 - B	1 - C
Compósito 2	2 - A	2 - B	2 - C
Compósito 3	3 - A	3 - B	3 - C

Fonte: Autor (2019).

Posterior à fabricação dos compósitos, cada corpo de prova foi respectivamente identificado com uma etiqueta adesiva indicando sua nomenclatura.

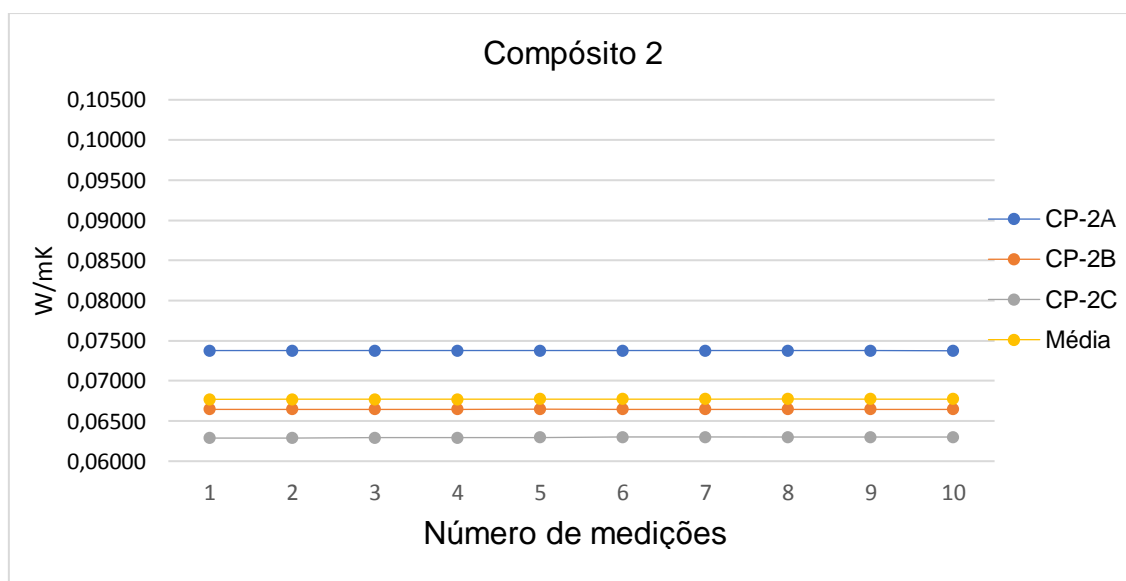
Os resultados obtidos nos testes de condutividade térmica estão apresentados nas Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 - Resultado do teste de condutividade térmica do compósito 1.



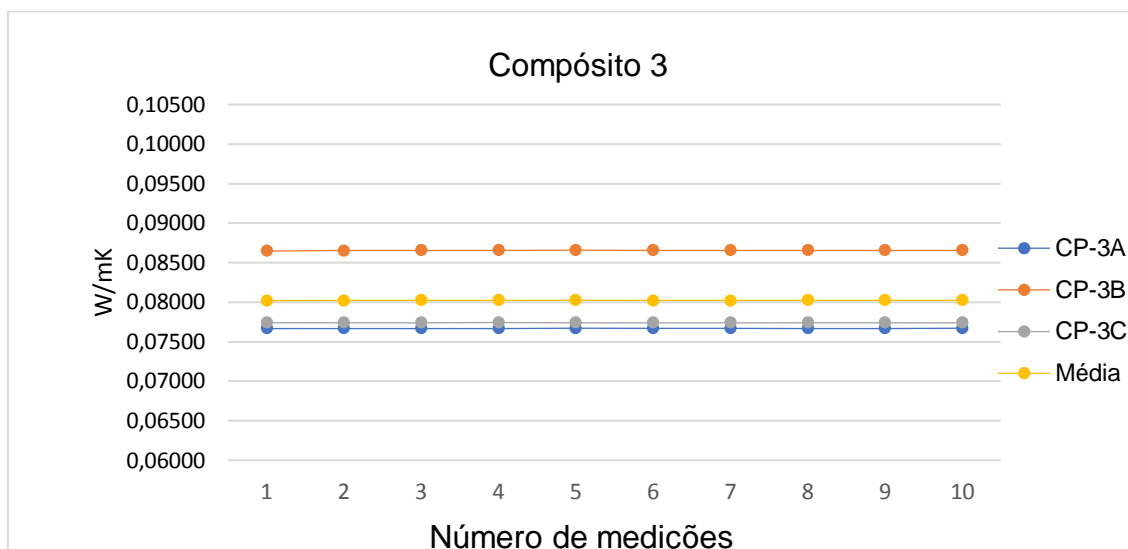
Fonte: Autor (2019).

Figura 7 - Resultado do teste de condutividade térmica do compósito 2.



Fonte: Autor (2019).

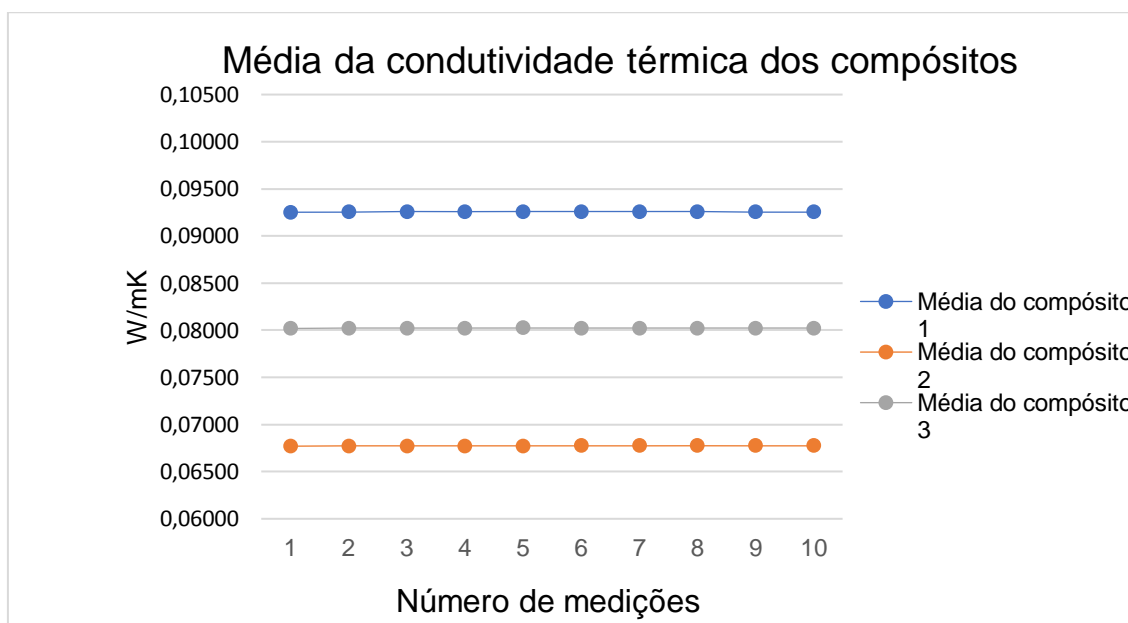
Figura 8 - Resultado do teste de condutividade térmica do compósito 3.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 9 compara a média dos três compósitos. Isso permite a visualização do comportamento referente ao isolamento térmico.

Figura 9 - Médias da condutividade térmica dos compósitos 1, 2 e 3



Fonte: Autor (2019).

A Tabela 4 mostra o resumo dos valores médios de condutividade térmica obtidos nos ensaios.

Tabela 4 - Média da condutividade térmica dos compósitos.

Teste de condutividade térmica [W/mK]				
Compósito	CP-A	CP-B	CP-C	Média
1	0,09397	0,09881	0,08488	0,09255
2	0,07376	0,06650	0,06300	0,06773
3	0,07670	0,08655	0,07741	0,08022

Fonte: Autor (2019).

Com os dados obtidos nos ensaios de condutividade térmica, foi aplicado o teste estatístico ANOVA, para verificar se houve diferença significativa entre os compósitos testados. De acordo com o teste Fc representado na Tabela 5, no qual foi calculado o valor de 12,498 e o p-valor de 0,0072, com um nível de significância de 0,05, pode-se concluir que houve diferença significativa, sendo seguro afirmar que houve diferença expressiva entre os resultados obtidos na condutividade térmica dos compósitos.

Tabela 5 - Resultado do teste ANOVA.

	DF	SS	MS	Fc	Pr>Fc
Compósito	2	0,0009	0,0004	12,498	0,0072
Tratamentos	6	0,0002	0,00003		
Total	8	0,0011			

Fonte: Autor (2019).

Para verificar quais compósitos apresentam diferenças significativas, os mesmos foram comparados por meio do teste de Tukey, que possui 95% de probabilidade de não apontar diferença significativa entre os compósitos. Nesse teste, o valor resultante aponta se uma média difere da outra, ou seja, quando o

valor da diferença entre às duas médias é igual ou maior que seu valor, sendo o seu resultado o valor de 0,0152, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado do teste de Tukey.

	{1}	{2}	{3}
Compósito	0,0925	0,0667	0,0822
1		0,006019	0,104016
2	0,006019		0,100522
3	0,104016	0,100522	

Fonte: Autor (2019).

Nesse teste, foi identificado diferenças significativas entre os compósitos 1 e 2, e não observado diferenças significativas entre os compósitos 2 e 3 e entre os compósitos 1 e 3.

No teste de Duncan, com nível de significância de 0,05, os compósitos foram novamente testados, a Tabela 7 exhibe os resultados.

Tabela 7 - Resultado do teste de Duncan.

	{1}	{2}	{3}
Compósito	0,0925	0,0667	0,0822
1		0,003014	0,047581
2	0,003014		0,045891
3	0,047581	0,045891	

Fonte: Autor (2019).

No teste de Duncan foi identificado diferenças significativas entre todos os compósitos. Assim foi possível determinar a composição que apresentou o melhor desempenho relacionado ao isolamento térmico. O compósito de número 2 obteve a menor condutividade térmica, com o valor médio de 0,0677 W/mK. É importante observar que, na avaliação de um isolamento térmico, quanto menor o valor de condutividade térmica, maior a sua capacidade de isolamento térmico.

Posterior ao teste de condutividade térmica e análise estatística, foi realizado o teste de dureza no compósito número 2, obtendo-se como média o valor de 82,92 HA. Após o ensaio de dureza foi realizado o procedimento de determinação de densidade, sendo obtido o valor de 580 kg/m³. As Tabelas 8 e 9 mostram os valores obtidos nos testes de dureza e densidade respectivamente.

Tabela 8 - Resultado do teste de dureza

Dureza Shore A (HA)		
CP1	CP2	CP3
88,00	82,50	81,00
88,50	77,00	81,50
85,00	84,50	81,00
77,50	81,00	83,00
79,50	85,00	89,50
Média	82,92	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 - Resultado do ensaio de determinação de densidade

Determinação de densidade	
Corpos de prova	Kg/m ³
CP1	571
CP2	589
CP3	582
Média	580

Fonte: Autor (2019).

Algumas considerações referentes ao processo de fabricação, matéria-prima e propriedades mecânicas podem ser destacadas.

No que diz respeito ao processo de fabricação, o mesmo pode ser considerado simples, de baixa complexidade e rápido, não sendo necessária uma mão-de-obra especializada, tendo em vista que os procedimentos são simples e de fácil entendimento e execução. No que diz respeito a segurança

para o operador do processo, alguns aspectos são importantes de serem destacados, como o uso de óculos de proteção, máscaras respiratórias semifaciais e luvas devem ser utilizadas ao longo de todo processo, protetores auriculares devem ser usados no processo de trituração, em virtude do ruído emitido pelo moinho de facas.

Em relação à matéria-prima, o resíduo de PU possui baixa densidade, quando descartado é comum o material possuir formas e dimensões irregulares, sendo dificultoso o seu armazenamento, sendo essa uma dificuldade encontrada durante o desenvolvimento da pesquisa. Outro fator relevante observado, foi a absorção de umidade do resíduo de PU, o que dificulta o processo de trituração, sendo conveniente evitar a exposição do material em ambientes úmidos anteriormente ao processo de trituração.

A casca de arroz, por outro lado, apresenta menos fatores de interferência e cuidados. Em síntese, sua alta abrasividade acelera a degradação das facas do moinho, dentro de um processo contínuo de fabricação. A afiação das facas deve ser regular. Durante o processo de trituração, a casca de arroz gera uma névoa de finas partículas, podendo ser acomodadas em toda a área onde o processo ocorre. Assim, não é recomendado que equipamentos frágeis, eletroeletrônicos e instrumentos de medição estejam no mesmo local onde sejam executados a trituração das cascas de arroz.

Em relação às propriedades mecânicas do compósito, o material foi avaliado em atributos de isolamento térmico, dureza e densidade. Dentre esses fatores, o de maior relevância foi o isolamento térmico. Nesse sentido, o material demonstrou valores de condutividade térmica apreciáveis, em alguns casos melhores que materiais comerciais, caracterizados como isolantes térmicos. Somado ao fato de suas matérias-primas serem resíduos, o compósito proposto se apresenta como uma possível opção em aplicações com a finalidade de isolamento térmico.

4.2 RESULTADO DA MENSURAÇÃO DE CUSTOS

Para a mensuração de custos de produção do compósito, foi encontrada determinada dificuldade, visto que tanto o resíduo de PU quanto a casca de arroz são resíduos e, atualmente, não possuem grande valor comercial.

A empresa que disponibilizou o resíduo de PU para a pesquisa, relatou que há um setor de recebimento de produtos (refrigeradores) danificados, inutilizados e obsoletos. Tais produtos são disponibilizados a empresas de sucatas entre outros, que possuam interesse nesses equipamentos descartados. Segundo a empresa, os equipamentos são desmontados, e há interesse por todas as partes dos equipamentos. Para o PU não é identificado interesse, sendo o único material remanescente no depósito de resíduos da empresa. Assim, sendo exigido que a empresa contrate serviços especializados no recolhimento e descarte de resíduos dessa natureza.

Não foi disponibilizado o valor que esse serviço custa para a empresa, no entanto, segundo a FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo), o custo médio para o recolhimento, transporte e disposição final em aterros industriais é de R\$ 112,39 por tonelada de resíduos classe-II A e classe-II B, sendo esse o parâmetro adotado para considerar o custo do resíduo de PU, esse dado foi obtido em junho de 2018.

Por outro lado, a casca de arroz possui maior apelo comercial, sendo mais comum sua comercialização. Em junho de 2018, através de buscas em canais de compra, foi possível cotar o valor de R\$ 180,00 por 100 kg de casca de arroz *in natura*. Desse modo, para fins de estudo, foi considerada a referida cotação nos custos dos compósitos.

A resina poliéster é comumente vendida em lojas especializadas e indústrias químicas (no atacado), sendo comercializada na unidade de kg, possuindo em média um custo de R\$ 37,00 por kg, valor consultado em junho de 2018.

Além dos custos com aquisição da matéria-prima necessária para a fabricação do compósito, uma série de outros insumos e materiais de consumo são necessários para confecção do compósito. Dentre eles, pode-se citar custos de energia elétrica para a trituração, custos de construção dos moldes, e custos com os aparatos e acessórios.

O custo de energia elétrica foi cotado, segundo as especificações de consumo de energia do moinho de facas, sendo considerado o valor de R\$ 0,45 kWh (quilowatt-hora) conforme informações da concessionária de energia elétrica em junho de 2018. O modelo de moinho empregado possui um motor com potência de $\frac{1}{4}$ CV (cavalo-vapor). Um CV equivale a 0,7354 kW, logo $\frac{1}{4}$ de

CV e podem ser convertidos para 0,1838 kW. Para triturar as quantidades necessárias para a fabricação de uma chapa nas dimensões especificadas, foram necessários 20 minutos, assim a quantidade de potência de 0,061 kW foi consumida nesse tempo. Esses dados foram usados para o cálculo do custo da energia elétrica necessária.

Assim, a projeção de custos de produção, se concentrou em fatores como matérias-primas e insumos para a fabricação de um volume específico do compósito. Em relação aos custos de matéria-prima e insumos, o Quadro 8 descreve as quantidades e valores médios para a fabricação de uma chapa com as dimensões de 200x200x20 mm, onde os valores utilizados para os cálculos foram os anteriormente citados.

Foi estimado o custo de R\$ 9,62 para fabricação de uma chapa, considerando somente os custos de matérias-primas e insumos consumíveis.

É importante destacar que os valores de energia elétrica podem variar em função da tarifa proveniente da fonte geradora de energia, sendo em determinadas épocas, mais barata e, em outras, mais cara. Os valores do resíduo de PU podem variar em função do custo de transporte e combustível, já os custos da casca de arroz podem variar em função da oferta e demanda desse insumo, como também da safra de arroz. Os custos de resina podem variar em função da variação do barril de petróleo, seu principal solvente.

Quadro 8 - Custos para fabricação do compósito

Matéria Prima	Valor em R\$	Quant.	Valor p/ fabricação em R\$
Resíduo de PU	0,11/kg	50 g	0,0055
Casca de Arroz	1,80/kg	200 g	0,36
Resina Poliéster	37,00/kg	250 g	9,25
Energia Elétrica	0,45/kWh	0,061 kW	0,01
Total			9,62

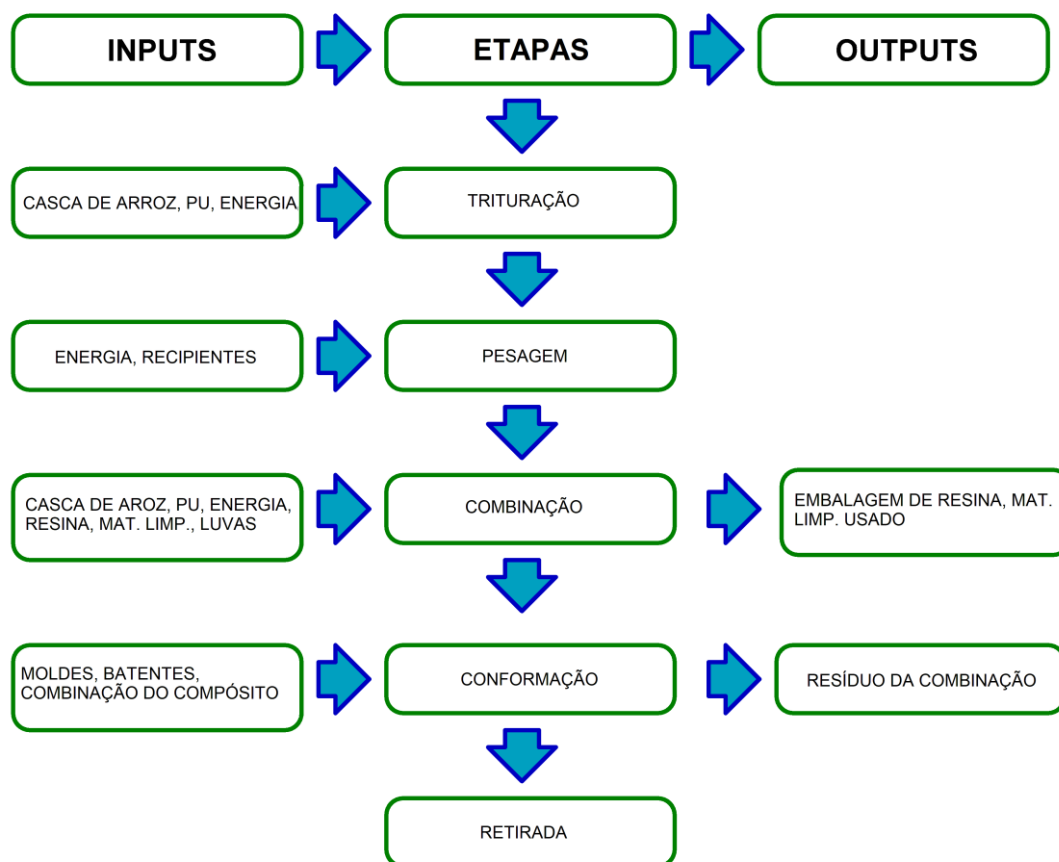
Fonte: Autor (2019).

A projeção foi realizada em um cenário sem impacto de aumento desses insumos e matérias-primas, sendo prudente enfatizar que em uma eventual fabricação em grandes escalas, é provável que haja alterações dos valores cotados. Também não foram considerados custos de mão-de-obra, tributação e margem de lucro, caso comercializado. Através do custo de fabricação, calculado em R\$ 9,62 para uma chapa de 200x200x20 mm, pode-se calcular o valor de R\$ 0,02 por cm³ do compósito.

4.3 RESULTADO DA ANÁLISE AMBIENTAL

A Figura 10 relaciona todos os *inputs* e *outputs* do processo de fabricação do compósito de resíduos de PU, casca de arroz e resina, na qual pode-se visualizar as etapas do processo que geram resíduos.

Figura 10 - Análise de *inputs* e *outputs* do processo de fabricação.



Fonte: Autor (2019).

Dentre às cinco etapas contidas na fabricação do material, apenas duas geram algum tipo de resíduo. Na etapa de combinação, após o término, tem-se como resíduo as embalagens plásticas provenientes do armazenamento da resina, sendo um resíduo de fácil e comum reciclagem, a exemplo de outras embalagens em material PET. Da mesma forma, tem-se a geração de resíduos providos dos materiais descartáveis, como luvas, papel para limpeza, panos e outros utensílios de limpeza. Esses materiais, todavia, estão contaminados com resíduos de resina, logo, são descartados na classificação de rejeito como classe 1A e devem ser segregados e separados dos demais.

Na etapa de conformação, por outro lado, após o término do procedimento, têm-se resquícios de partículas da mistura do compósito, que são desfragmentados do volume do material. Porém, essas partículas podem ser inseridas juntamente com uma nova mistura de componentes, sendo reaproveitadas na própria composição do material.

Por fim, observa-se que a elaboração do material compósito necessita de baixas quantidades de energia e pouca quantidade de estrutura e utensílios, sendo que a geração de resíduos é limitada e contornável. Além disso, é importante destacar que, quando pronto, o material possui características importantes, como já evidenciado, tais como isolamento térmico, fator altamente requisitado em diversos setores da indústria.

Diferentes autores endossam a utilização de compósitos originados de resíduos. Dentre eles, Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015) enfatizam que compósitos gerados de fibras como a casca de arroz, girassol e cana-de-açúcar, mesmo que com baixos índices de coeficiente de isolamento térmico, devem ser apreciados. Face à alta disponibilidade desses componentes. Ademais, podendo gerar rendas a setores até então não explorados, movimentando e aquecendo a economia, principalmente, no que tange ao agronegócio.

4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

As Tabelas 10 e 11 mostram os valores de condutividade térmica de materiais tradicionais e alternativos usados como isolantes térmicos. O valor da condutividade térmica do compósito elaborado foi inserido junto com os materiais apontados, visando a comparação dos valores.

Tabela 10 - Condutividade térmica de materiais comumente usados.

Material	Condutividade Térmica [W/mK]
Espuma rígida de PU	0,0300
Poliestireno extrudado	0,0350
Poliestireno expandido	0,0400
Lã de rocha	0,0450
Lã de vidro	0,0450
Compósito proposto	0,0677

Fonte: Adaptado de Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015).

Tabela 11 - Condutividade térmica de compósitos alternativos.

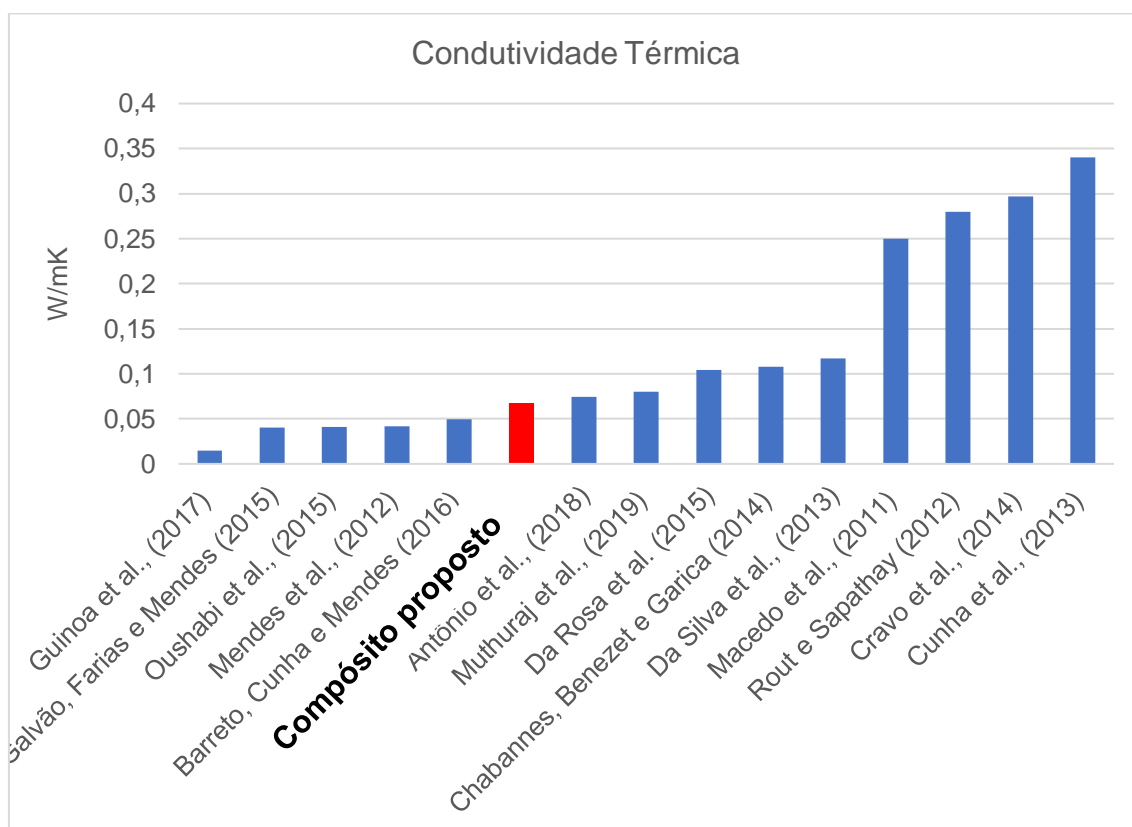
Material	Condutividade Térmica [W/mK]
Folha de abacaxi	0,0350
Bagaço de cana-de-açúcar	0,0460
Casca de arroz	0,0460
Talos de algodão	0,0590
Compósito proposto	0,0677
Espiga de milho	0,1000

Fonte: Adaptado de Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015).

Referente a outros estudos, em relação a condutividade térmica, foi possível comparar o compósito elaborado com: Da Silva et al. (2013) obtiveram o valor de 0,1170 W/mK; Antônio et al. (2018) obtiveram de o valor de 0,0743 W/mK; Oushabi et al. (2015) obtiveram o valor de 0,0410 W/mK; Barreto, Cunha e Mendes (2016) obtiveram o valor de 0,0493 W/mK; Rout e Sapathay (2012) obtiveram o valor de 0,2800 W/mK; Galvão, Farias e Mendes (2015) obtiveram o valor de 0,0400 W/mK; Cunha et al. (2013) obtiveram o valor de 0,3400 W/mK; Macedo et al. (2011) obtiveram o valor de 0,2500 W/mK; Muthuraj et al. (2019) obtiveram o o valor de 0,0800 W/mK; Mendes et al. (2012) obtiveram o valor de 0,0420 W/mK; Da Rosa et al. (2015) obtiveram o valor de 0,104 W/mK; Cravo et

al. (2014) obtiveram o valor de 0,2970 W/mK; De Guinoa et al. (2017) obtiveram o valor de 0,0150 W/mK; Chabannes, Benezet e Garica-Diaz (2014) obtiveram o valor de 0,1080 W/mK. Para melhor visualização, a Figura 11 demonstra os valores obtidos nos compósitos dos autores mencionados.

Figura 11 - Comparação da condutividade térmica dos compósitos.



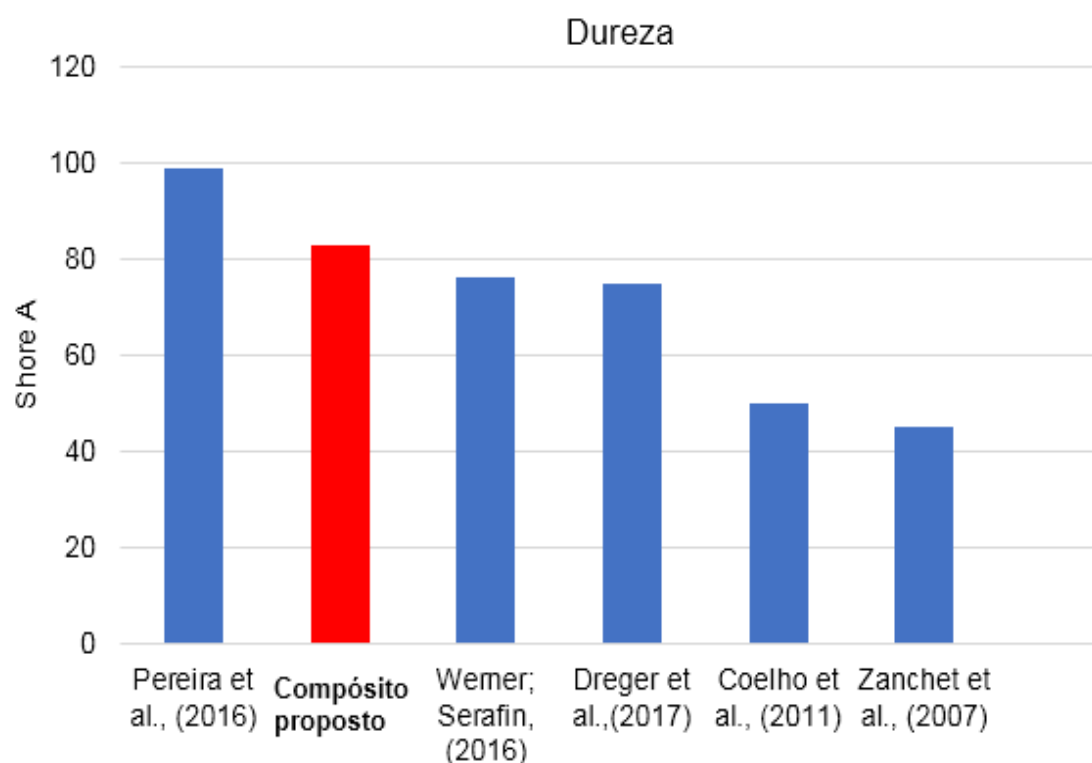
Fonte: Autor (2019).

Em confronto com os valores apresentados, foi possível observar que a condutividade térmica do compósito desenvolvido se posiciona em uma faixa intermediária, sendo competitivo na propriedade de isolamento térmico.

A fim de aferir a capacidade de resistência ao desgaste, foram realizados ensaios de dureza, onde o resultado obtido foi uma média de 82,92 HA.

O material apresentou índices de dureza apreciáveis quando comparados com outros compósitos, sendo essa, uma importante característica sob o ponto de vista de possíveis aplicações do material. A Figura 12 mostra os valores de dureza verificados em compósitos de outras pesquisas.

Figura 12 - Comparação dos valores de dureza dos c mpositos.



Fonte: Autor (2019).

O c mposito selecionado apresentou uma densidade de 580 kg/m³. Para efeitos de compara o, a Tabela 12 mostra os valores de densidade de materiais convencionais.

Tabela 12 - Densidade de materiais isolantes t rmicos convencionais.

Material	Densidade [kg/m ³]
Compósito Proposto	580
L� de rocha	200
L� de vidro	100
Espuma rígida de PU	40
Poliestireno extrudado	40
Poliestireno expandido	35

Fonte: Adaptado de Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015).

Em relação à densidade, o compósito fabricado possui índices expressivamente maiores quando comparado com materiais convencionais. Por outro lado, quando comparado com materiais alternativos, a densidade do compósito ficou em níveis intermediários, conforme pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Densidade de materiais isolantes térmicos alternativos.

Material Utilizado	Densidade [kg/m ³]
Durião	907
Pecan	680
Girassol	585
Cómposito Proposto	580
Algodão	450
Óleo de palma	120

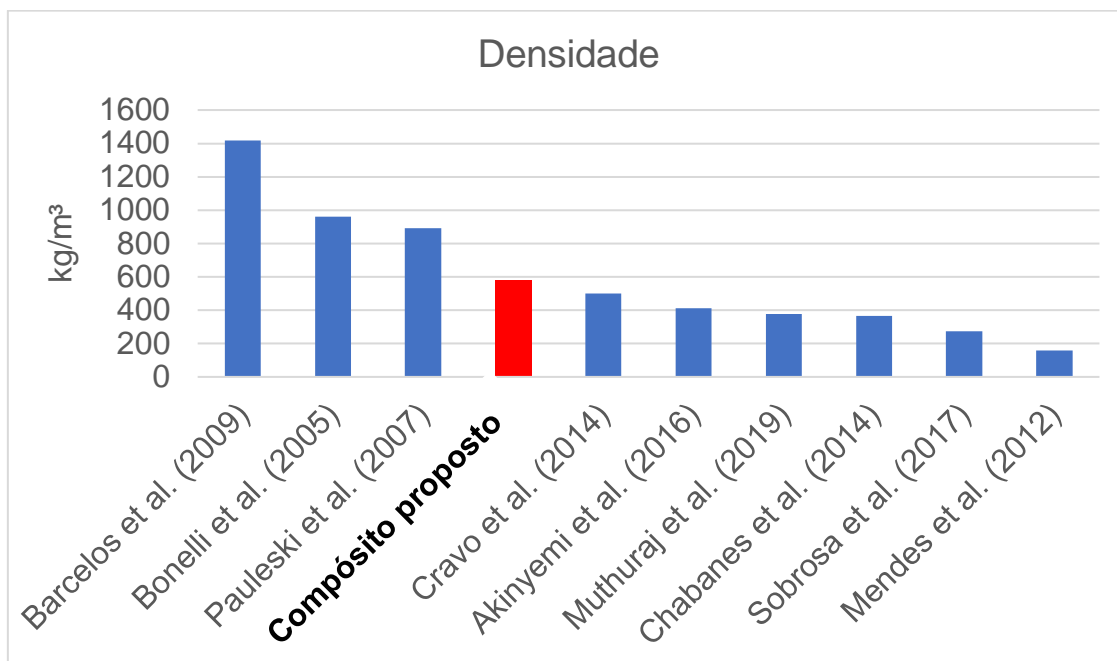
Fonte: Adaptado de Asdrubali, D'Alessandro e Schiavoni (2015).

Referente a outros estudos, foi possível comparar o compósito elaborado em relação a sua densidade com os trabalhos de: Barcellos et al. (2009) obtiveram o valor de 1416 kg/m³; Bonelli et al. (2005) obtiveram o valor de 960 kg/m³; Pauleski et al. (2005) obtiveram o valor de 890 kg/m³; Muthuraj et al. (2019) obtiveram o valor de 378 kg/m³; Cravo et al., (2014) obtiveram o valor de 500 kg/m³; Mendes et al. (2012) obtiveram o valor de 160 kg/m³; Akinyemi et al. (2016) obtiveram o valor de 413 kg/m³; Chabannes, Bénétzet e Diaz (2014) obtiveram o valor de 364 kg/m³; Sobrosa et al. (2017) obtiveram o valor de 273 kg/m³.

A Figura 13 mostra um comparativo do valor de densidade do compósito desenvolvido com compósitos elaborados por outros pesquisadores.

Em confronto com os valores apresentados, foi possível observar que a densidade do compósito desenvolvido se posiciona em uma faixa intermediária, podendo ser considerado um resultado satisfatório, sendo a densidade um importante fator a ser observado na seleção e caracterização de materiais compósitos.

Figura 13 - Comparação da densidade dos compósitos.



Fonte: Autor (2019).

Uma amplitude de valores pode ser identificada entre os materiais comparados. Em função do uso, um material com menor densidade pode levar vantagem quando comparado com um material que possua maior densidade, em determinados casos isso pode ser aplicado em situações em que o isolamento térmico é desejado.

5 CONCLUSÃO

É seguro afirmar que, na presente pesquisa, foi possível detalhar e especificar as matérias-primas, procedimentos e etapas necessárias para o desenvolvimento de um compósito com propriedades de isolamento térmico.

Através das informações contidas na literatura consultada, foram elencadas três formulações do compósito, variando as proporções de seus componentes. Com o teste de condutividade térmica, foi possível determinar qual composição apresentou o melhor desempenho, sendo escolhida a formulação que obteve um valor médio de 0,0677 W/mK, formado por proporções em volume de 50,33% de resíduo de poliuretano, 42,33% de casca de arroz e 6,90% de resina poliéster.

Testes secundários foram executados na formulação escolhida com a finalidade de melhor caracterizá-la a amostra, sendo verificado uma densidade de 580 kg/m³, e dureza de 82,92 HA.

Atendendo a um dos objetivos propostos, houve a comparação do índice de condutividade térmica do material fabricado com outros materiais comumente usados como isolantes térmicos. Nessa comparação, o material proposto não se demonstrou competitivo, possuindo valores sensivelmente maiores.

Quando comparado com materiais alternativos, o material compósito desenvolvido pôde ser considerado de bom desempenho, obtendo índices menores que vários dos materiais dessa classe.

Em relação ao processo de fabricação, o mesmo foi definido e detalhado no decorrer da pesquisa. Um aspecto negativo observado, foi a fragilidade do material, assim sendo inviável o corte das chapas ou outros procedimentos de usinagem no material. Outro aspecto observado é a liberação de odor desagradável ao se fazer a mistura dos componentes usados na preparação do compósito, exigindo um local com exaustão de gases e equipamentos de proteção individual (óculos e máscara).

De modo geral, o compósito apresentou um significativo potencial de aplicação e utilização, sendo factível um possível vínculo a um produto ou aplicação, na qual haja a necessidade de isolação térmica.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Sugestões para o aprimoramento e desenvolvimento do compósito podem ser listadas, conforme segue:

- Avaliar aditivos que aumentem as propriedades de ductibilidade ao material;
- Testar o material em um produto, no qual sejam necessárias as propriedades de isolamento térmico;
- Usar outros resíduos na composição, a fim de verificar se há o aumento dos índices de isolamento térmico;
- Avaliar as propriedades mecânicas do compósito, tais como resistência ao impacto, resistência à tração e à flexão;
- Proceder uma caracterização e análise dos odores emitidos na etapa de mistura.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14001:** Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2015. 41 p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2:** Painéis de partículas de média densidade, parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1:** Desempenho térmico de edificações - Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005. 7 p.
- ABEPRO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **A profissão.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < <http://portalabepro.educacao.ws/a-profissao/#1521896862865-5590ca00-3aad>>. Acesso em: 14 jan. 2018.
- AKINYEMI, A. B.; AFOLAYAN, J. O.; OLUWATOBI, E. O. Some properties of composite corn cob and sawdust particle boards. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 127, p. 436-441, set., 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816316555>>. Acesso em: 05 maio 2019.
- ALAMEDA, L. et al. Reciclado de placas de yeso laminado aligeradas con resíduos de poliuretano. **Anales de Edificación**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 33- 39, abr., 2015. Disponível em:<http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/3037>. Acesso em 01 dez. 2018.
- ALWI, S. R. W. et al. Sustainability engineering for the future. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v.71, p. 1-10, mai., 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614002340>>. Acesso em:22 jun. 2018.
- ANTÓNIO, J. et al. Application of rice husk in the development of new composite boards. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 176, p. 432-439, jul., 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818310936>>. Acesso em: 03 dez. 2018.
- ARCARO, S. et al. Isolantes térmicos produzidos a partir de resíduos sólidos industriais. **Cerâmica**, [São Paulo], v. 62, n. 361, p. 32-37, jan./mar., 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v62n361/1678-4553-ce-62-361-00032.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2019.
- ARCHANGELO, A. et al. Avaliação do teor de umidade em painéis fabricados com resíduos de arroz. **Integração Engenharia**, [Bauru], v. 1, p. 37-42, jan./abr., 2018. Disponível: < <http://integracao.feb.unesp.br/index.php/RIE/article/view/10/pdf> >. Acesso em: 22 out. 2018.

ARIDI, N. A. M. et al. Mechanical and morphological properties of injection-molded rice husk polypropylene composites. **International Journal of Polymer Analysis and Characterization**, [S.l.], v. 21, n. 4, p. 305-313, mar., 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/1023666X.2016.1148316>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

ASDRUBALI, F.; D'ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, [S.l.], v. 4, p. 1-17, jun., 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000068>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C518-04**: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. West Conshohocken, WC: ASTM, 2004.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2240-15**: Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. West Conshohocken, WC: ASTM, 2005.

AZEVEDO, J. B. et al. Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento. **Revista Matéria**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 391-406, jul., 2016. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/303807688>>. Acesso em: 29 out. 2017.

BAHARI, S. A.; KRAUSE, A. Utilizing Malaysian bamboo for use in thermo plastic composites. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 110, p. 16-24, jan., 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.052>>. Acesso: 2 nov. 2018.

BARCELLOS, I. O.; DE SOUZA, A. C.; SELKE, A. E. Incorporação de Lodo Industrial em Compósitos de Resina Poliéster. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 155-159, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a14>>. Acesso em: 05 maio 2019.

BARRETO, F. M.; CUNHA, R. A. D.; MENDES, J. U. L. Análise térmica de um eco compósito de poliuretano de mamona com rejeito de madeira. **HOLOS**, [S.l.], v. 7, p. 110-120, set., 2016. Disponível em: <<https://search.proquest.com/openview/7c2abe9724ec27516cebe0367c42bb61/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1356374>>. Acesso em: 7 dez. 2018.

BASSYOUNI, M. et al. Synthesis and characterization of polyurethane – Treated waste milled light bulbs composites. **Composites part B: Engineering**, [S.l.], v. 43, n. 3, p. 1439-1444, abr., 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836811003489>>. Acesso em: 29 out. 2017.

BHARDWAJ, H.; GUPTA, R.; TIWARI, A. Communities of microbial enzymes associated with biodegradation of plastics. **Journal of Polymers and the Env**

ironment, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 575-579, abr., 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10924-012-0456-z>>. Acesso em 12 jan. 2018.

BINICI, H. et al. Investigating sound insulation, thermal conductivity and radioactivity of chipboards produced with cotton waste, fly ash and barite. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 30, p.826-832, jan., 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/sdfe/reader/pii/S0950061811007549/pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

BOM, R. P. Alternativa de reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano com ABS. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 388-397, abr./jun., 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S15177076200800200018&script=sci_a_rtext>. Acesso em: 01 dez. 2018.

BONELLI, C. et al. Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 256-260, jul., 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/po/v15n4/a09v15n4.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

BURGER, N. et al. Review of thermal conductivity in composites: mechanisms, parameters and theory. **Progress in Polymer Science**, [S.l.], v. 61, p. 1-28, out., 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670016300156>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

CAETANO, M. D. D. E.; DEPIZZOL, D. B.; REIS, A. O. P. Análise do gerenciamento de resíduos sólidos e proposição de melhorias: estudo de caso em uma marcenaria de Cariacica, ES. **Gestão e Produção**, v. 24, n. 2, p. 382-394, fev. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v24n2/0104-530X-gp-0104-530X1413-16.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2017.

CALLISTER JR. W. D.; RETHWISCH, D. V. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CHABANNES, M. et al. Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 70, p. 428-438, Ago., 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814007405>>. Acesso em: 06 maio 2019.

COELHO, D. de B. et al. Misturas NR/SBR: influência da ordem de adição dos aditivos da mistura e do tipo de carga sobre propriedades mecânicas. **Polímeros**, [S.l.], v. 21, n. 3, p. 204-209, nov., 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/2011nahead/aop_0631.pdf>. Acesso em: 05 maio 2019.

CRAVO, J. M. et al. Compósito à base de resíduos agrícolas para aplicação como forro em aviários. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 358-367, dez., 2015. Disponível em: <

<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/332>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CREGUT, M. et al. New insights into polyurethane biodegradation and realistic prospects for the development of a sustainable waste recycling process. **Biotechnology advances**, [S.l.], v. 31, p. 1634-1647, dez. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975013001456>>. Acesso em: 01 dez. 2018.

CUNHA, P. W. S et al. Propriedades termofísicas de compósito de matriz de gesso e fibra vegetal. **HOLOS**, [S.l.], v. 1, p. 127-138, dez., 2013. Disponível em: < <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1203> >. Acesso em: 05 maio 2019.

DA ROSA, F. S.; SCHERER, M. J. Desempenho térmico de paredes de alvenaria protegidas com revestimento de compósitos de resíduos agrícolas. **Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 14, n. 2, p. 96-113, abr./jun., 2018. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/6916/5464>>. Acesso em 01 dez. 2018.

DA ROSA, L. C. et al. Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 104, p. 90-97, out., 2015. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615005028>>. Acesso em: 23 jul. 2017.

DA SILVA, V. R. et al. Polyurethane foams based on modified tung oil and reinforced with rice husk ash I: synthesis and physical chemical characterization. **Polymer Testing**, [S.l.], v. 32, p. 438-445, abr. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941813000044>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

DAS, O.; BHATTACHARYYA, D.; SARMAH, A. K. Sustainable eco-composites obtained from waste derived biochar: a consideration in performance properties, production costs, and environmental impact. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 129, p. 159-168, ago., 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261630364X>>. Acesso: 2 nov. 2018.

DE GUIMARÃES, J. C. F. de; SEVERO, E. A.; VIEIRA, A. S. Cleaner production, project management and strategic drivers: an empirical study, **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 141, p. 881-890, jan., 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616315074>>. Acesso em: 29 out. 2017.

DE GUINOA, A. S. et al. Environmental assessment of a nano-technological aerogel-based panel for building insulation. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 161, p. 1404-1415, jun., 2017. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617312738> >. Acesso em: 05 maio 2019.

DOAN, T. T. L.; BRODOWSKY, H. M.; MÄDER, E. Polyolefine Composites Reinforced by Rice Husk and Saw Dust. In: **Composites from Renewable and Sustainable Materials**. InTech, 2016.

DREGER, A. A. et al. Caracterização mecânica e morfológica de solados produzidos com resíduos de laminados de PVC da indústria calçadista. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, V. 23, n. 1, p. 11957-11967, set., 2017. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/194484> > Acesso em: 05 maio 2019.

DRESCH, A. et al. **Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EL-SHEKEIL, Y. A.; SAPUAN, S. M.; ALGRAFI, M. W. Effect of fiber loading on mechanical and morphological properties of cocoa pod husk fibers reinforced thermoplastic polyurethane composites. **Materials & Design**, [S.l.], v. 64, p. 330-333, dez., 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914005664>>. Acesso em: 3 nov. de 2018.

FERNANDES, J. L., et al. Um estudo na produção mais limpa na gestão ambiental. **Augustus**. Rio de Janeiro, v. 20, n. 39, p. 52-64, jan./jun. 2015. Disponível em: <<http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/revistaagustus/article/view/839>>. Acesso em: 04 set. 2017.

FONGANG, R. T. T. et al. Cleaner production of the lightweight insulating composites: Microstructure, pore network and thermal conductivity. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 113-122, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778815301948?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 jul 2018.

FORNASIERI, M. et al. Synthesis and characterization of polyurethane composites of wood waste and polyols from chemically recycled pet, **Composites Part A: applied science and manufacturing**, [S.l.], v. 42, n. 2, p. 189-195, fev., 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X10002903>>. Acesso em: 29 out. 2017.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 2001.

GALVÃO, Á. C. P.; FARIAS, A. C. M.; MENDES, J. U. L. Obtenção e caracterização de espumas rígidas de poliuretano (PUR) com pó de vidro sodo-cálcico (PV) do rejeito da lapidação. **Holos**, [S.L.], v. 5, n. 31, p. 104-118, set., 2015. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2085>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

GREGOR, S.; HEVNER, A. R., Positioning and presenting Design Science Research for maximum impact. **MIS Quarterly**, [S.l.], v. 37, n. 2, p. 337-355, jun, 2013. Disponível em: < <https://ai.arizona.edu/sites/ai/files/MIS611D/gregor-2013-positioning-presenting-design-science-research.pdf> >. Acesso em: 08 fev. 2019.

GRYCZAK, M. **Compósito Sustentável casca de arroz/resina de óleo de mamona de baixa densidade**. 2016. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

HASAN, A. M. Investigation on Thermal and Acoustic Properties of Hybrid Polymer Composite Reinforced by Date Palm Fibers and Rice Husks as a Construction Material. **Alnahrain journal for engineering sciences**, Baghdad, v. 19, n. 1, p. 56-65, 2016. Disponível em: <<https://www.iasj.net/iasj?func=article&ald=108509>>. Acesso em 3 set. 2018.

HENRIQUES, J.; CATARINO, J. Sustainable value and cleaner production – research and application in 19 Portuguese SME. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 96, p. 379-386, jun., 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614001760>>. Acesso em 23 mai. de 2018.

HEVNER, A. R. A three cycle view of design science research. **Scandinavian Journal of Information systems**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 87-92, 2007. Disponível em: <<https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1017&context=sjis>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Notícias**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/18665-ibge-preve-safra-de-graos-9-2-menor-em-2018.html>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

JAHANILOMER, Z.; FARROKHPAYAM, S. R. Physical and mechanical properties of flat pressed HDPE composite filled with a mixture of bagasse/rice husk. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 50-56, jun., 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13196-014-0117-z>>. Acesso em: 29 out. 2017.

KAIRYTE, A. et al. Cleaner production of polyurethane foam: Replacement of conventional raw materials, assessment of fire resistance and environmental impact. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 183, p. 760-771, mai., 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618304839>>. Acesso: 2 nov. 2018.

KARGARZADEH, H.; JOHAR, N.; AHMAD, I. Starch biocomposite film reinforced by multiscale rice husk fiber. **Composites Science and Technology**, [S.l.], v. 151, p. 147-155, ago., 2017. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0266353817312575/1-s2.0-S0266353817312575-main.pdf?_tid=1552e060-bcca-11e7-aeba-00000aacb360&acdnat=1509296359_a7ba41e52340b895_2c42c26e7cc0ba56>. Acesso em: 29 out. 2017.

KENECHI, N.; LINUS, C.; KAYODE, A. Utilization of rice husk as reinforcement in plastic composites fabrication - a review. **American Journal of Materials Synthesis and Processing**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 32-36, 2016. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/profile/Kenechi_NwosuObieogu/publication/312601752f>. Acesso em: 15 fev. 2018.

KHALILI, N. R. et al. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 96, p. 30-43, fev., 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614001322>>. Acesso em: 29 out. 2017.

LACERDA, D.P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, [S.l.], v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2013000400001&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 22 nov. 2018.

LEE, Y. K. et al. Mechanical properties of rice husk flour-wood particleboard by urea-formaldehyde resin. **Journal of the Korean Wood Science and Technology**, [S.l.], v. 31, n. 3, p. 42-49, 2003. Disponível em: <<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200310103476100.page>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

LOPES, B. L., **Polímeros reforçados por fibras vegetais**: um resumo sobre esses compósitos. São Paulo: Blucher, 2017.

LOREDO, A. et al. Biodegradación fúngica de poliuretano rígido. **Química Nova**, [São Paulo], v. 40, n. 8, p. 885-889, jan., 2017. Disponível em: <<https://doaj.org/article/ff902fbfcbc846a3a04bcc7efd5ad953?frbrVersion=2>>. Acesso em 22 out. 2018.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos de beneficiamento de arroz. **Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 08, n. 1, p. 219-232, mar., 2012. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/viewFile/838/786>>. Acesso em: 04 set. 2017.

MACEDO, M. C. et al. Materiais compósitos à base de gesso e isopor para construção de casas populares. **HOLOS**, [S.l.], v. 5, p. 95-105, dez., 2011. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/html/4815/481549218009/>>. Acesso em: 06 maio 2019.

MANFIO, N. M.; LACERDA, D. P. Definição do escopo em projetos de desenvolvimento de produtos alimentícios: uma proposta de método. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 23, n. 1, p. 18-36, abr., 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/2015nahead/0104-530X-gp-0104-530X1009-13.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

MARQUES, D. V. et al. Propriedades de isolamento térmico, acústico e de resistência à compressão de placas de PU com a incorporação de resíduo de PET e alumina. **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 2, p. 29-36, mar./jun., 2016. Disponível em: <<http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1293/639>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

- MARZALL, L. F. et al. (Re)estruturação do projeto de produto por meio da produção mais limpa como estratégia para gestão ambiental. **SBIJOURNAL: Sustainable Business International Journal**, [S.l.], n. 52, p. 1-25, mai./ago. 2015. Disponível em: <<http://www.sbijournal.uff.br/index.php/sbijournal/article/view/93>>. Acesso em: 02 ago. 2017.
- MENDES, J. U. L. et al. Determinação da difusividade térmica de um compósito natural visando classificá-lo como isolante térmico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, SC. **Anais...** Joinville: CBECIMAT, 2012.
- MILAN, G. Sperandio; GRAZZIOTIN, D. Um estudo sobre a aplicação da Produção mais Limpa (P+L). **Revista GEPROS**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 127-140, jan./mar. 2011. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/424>>. Acesso em: 3 out. 2018.
- MUTHURAJ, R. et al. Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. **Industrial Crops and Products**, [S.l.], v. 135, p. 238-245, maio., 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669019303024>>. Acesso em: 05 maio de 2019.
- OSMANI, M. Innovation in cleaner production through waste recycling in composites. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 24, n. 1, p. 6-15, 2013. Disponível em: <<https://www-emeraldinsight-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1108/14777831311291104>>. Acesso em: 04 mai. 2018.
- OTTO, G. P. et al. Mechanical properties of a polyurethane hybrid composite with natural lignocellulosic fibers. **Composites part B:Engineering**, [S.l.], v.110, p. 459-465, nov., 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816313889>>. Acesso em: 29 out. 2017.
- OUSHABI, A. et al. Natural thermal-insulation materials composed of renewable resources: characterization of local date palm fibers (LDPF). **J. Mater. Environ. Sci**, [S.l.], v. 6, n. 12, p. 3395-3402, dez., 2015. Disponível em: <https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol6/vol6_N12/387Oushabi.pdf>. Acesso em: 04 set. 2017.
- PALUMBO, M.; FORMOSA, J.; LACASTA, A. M. Thermal degradation and fire behaviour of thermal insulation materials based on food crop by-products. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 79, p. 34-39, mar., 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815000483>>. Acesso em: 30 mai. 2018.
- PAULESKI, D. T. et al. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. **Ciência Florestal**, [S.l.], v. 17, p. 157-

170, abr./jun., 2007. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1947/1189> >. Acesso em: 01 dez. 2018.

PEREIRA, G. C. et al. Influência da quantidade de fibras na dureza e resistência ao impacto de compósitos HIPS/bagaço de cana para aplicação na indústria de pet shop. In: XX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2016, São José dos Campos/SP. **Anais...** São José dos Campos: INICEPG, 2016. Disponível em: < http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0502_0821_01.pdf >. Acesso em: 10 maio 2019.

PEFFERS, K. et al. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, [S.l.], v. 24, n. 3, p. 45-77, 2008. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>>. Acesso em: 12 maio 2019.

PIZZATTO, L. et al. Synthesis and characterization of thermoplastic polyurethane/nanoclay composites. **Materials Science & Engineering**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 474-478, mar. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493108002221>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

PODE, R. Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 53, p. 1468-1485, jan., 2015. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115010217> >. Acesso em: 01 dez. 2018.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RAZA, S. S.; RIZVI, S. M. A.; DWIVEDI, A. Study of mechanical properties of composite material based on polypropylene and rice husk filler: a review. In **International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET)**, [S.l.], v.3, n.1, p. 453-457, jan./fev., 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Abhishek_Dwivedi12/publication/314094051_Study_of_Mechanical_Properties_of_Composite_Material_Based_on_Polypropylene_and_Rice_Husk_Filler_A_Review/links/58b51d60a6fdcc6f03fe6ce9/Study-of-Mechanical-Properties-of-Composite-Material-Based-on-Polypropylene-and-Rice-Husk-Filler-A-Review.pdf>. Acesso em: 23 maio 2018.

ROSA, A. D. La. et al. Life cycle assessment of a novel hybrid glass-hemp/thermoset composite. **Journal of Cleaner Production**, v. 44, p. 69-76, 2013. Disponível em: <<https://www-sciencedirect-com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652612006312?via%3Dihu>>. Acesso em: 04 maio 2018.

ROUT, A. K.; SATAPATHY, A. Computational and experimental investigation on thermal insulation capabilities of rice husk filled epoxy composites.

Computational Thermal Sciences, [S.I.], v. 4, n. 2, p. 107-114, 2012.

Disponível em:<

<http://www.dl.begellhouse.com/journals/648192910890cd0e,3a2e47ed198680eb,353079df369037af.html>>. Acesso em: 10 maio 2019.

SATTAR, R.; KAUSAR, A.; SIDDIQ, Muhammad. Advances in thermoplastic polyurethane composites reinforced with carbon nanotubes and carbon nanofibers: A review. **Journal of Plastic Film & Sheeting**, [S.I.], v. 31, n. 2, p. 186-224, 2015. Disponível em:<

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/8756087914535126>>. Acesso em 05 jan. 2019.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais**. 6ª Edição. São Paulo: Pearson, 2008.

SILVA, A. S.; MEDEIROS, C. F.; VIEIRA, R. K. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], v. 150, p. 324-338, mar., 2017. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201700191838> >. Acesso em 4 ago. 2018.

Disponível em: <<http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201700191838> >. Acesso em 4 ago. 2018.

SOBROSA, F. Z. et al. Development of refractory ceramics from residual silica derived from rice husk ash. **Ceramics International**, [S.I.], v. 43, n. 9, p. 7142-7146, jun., 2017. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884217303504>>.

Acesso em: 22 out. 2018.

SOLTANI, N. et al. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. **Chemical engineering journal**, México, v. 264, p. 899-935, mar., ago., 2014. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714015150>>. Acesso em 01 dez 2018.

SOUZA, A. M. et al. Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], v. 193, p. 549-562, mai., 2018. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618314239>>. Acesso em: 2 dez. 2018.

SUPLICZ, A.; HARGITAI, H.; KOVACS, J. G. Methodology development for through-plane thermal conductivity prediction of composites. **International Journal of Thermal Sciences**, [S.I.], v. 100, p. 54-59, fev., 2015. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072915002732>>. Acesso em: 13 dez. 2018.

TANTISATTAYAKUL, T.; KANCHANAPIYA, P.; METHACANON, P. Comparative waste management options for rigid polyurethane foam waste in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, [S.I.], v. 196, p. 1576-1586, set., 2018. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261831816X> >. Acesso em: 01 dez. 2018.

- TORREIRA, R.P. Isolantes térmicos – frio & calor. Fulton Editora Técnica LTDA. 1980,1024 p.
- VAISANEN, T. et al. Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review. **Waste Management**, [S.l.], v. 54, ago., 2016. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16302355>>. Acesso em 10 dez. 2018.
- VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo: Blücher, 2013. 730p.
- VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J., BASKERVILLE, Framework for Evaluation in Design Science Research. **European Journal of Information Systems**, [S.l.], v. 25, p.77-89, ago. 2014. Disponível em:< <https://orsociety.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/ejis.2014.36#.XF3KbIVKjIU>>. Acesso em: 08 fev. 2019.
- VOM BROCKE, Jan et al. Tool-support for design science research. **Design principles and instantiation**. [S.l.], maio, 2017. Disponível em:< <https://ssrn.com/abstract=2972803>>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- VIVALDINI, D. O. et al. Review: Fundamentals and materials for the microstructure design of high performance refractory thermal insulating. **Cerâmica**, São Carlos, v. 60, p. 297-309, abr./jun., 2014. Disponível em:< http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S036669132014000200021&script=sci_artt_ext&tlng=es>. Acesso em: 09 dez. 2018.
- WANG, Y. et al. Acoustic Characteristics Parameters of Polyurethane/Rice Husk Composites. **Polymer Composites**, [S.l.], v. 39, n. 11, nov., 2018. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pc.25060>>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- WERNER, M.; SEFERIN, M. Caracterização de blendas elastoméricas com a adição de negro de fumo em conjunto com nanotubos de carbono. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 326-329, out./dez., 2016. Disponível em:< <http://www.tecnologiammm.com.br/files/v13n4/tmm1042.pdf> >. Acesso em: 05 maio 2019.
- YAM, R. C. M.; MAK, D. M. T. A cleaner production of rice husk-blended polypropylene eco-composite by gas-assisted injection moulding. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 67, p. 277-284, mar., 2014. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008925>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- YUSUP, M. Z. et al. The implementation of cleaner production practices from Malaysian manufactures perspectives. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 108, p. 659-672, dez., 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615010318>>. Acesso em: 29 out. 2018.
- ZANCHET, A. et al. Propriedades reométricas e mecânicas e morfologia de compósitos desenvolvidos com resíduos elastoméricos vulcanizados.

Polímeros: Ciência e Tecnologia, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 23-27, out., 2007.
Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/po/v17n1/a08v17n1>>. Acesso em 06 maio 2019.