

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E  
TECNOLÓGICA

**Marion Silva da Silva**

**RECUPERAÇÃO MECÂNICA DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO DE  
BAIXA TEMPERATURA PARA USO EM CONTEXTOS  
HOSPITALARES**

Santa Maria, RS  
2024

**Marion Silva da Silva**

**RECUPERAÇÃO MECÂNICA DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO DE BAIXA  
TEMPERATURA PARA USO EM CONTEXTOS HOSPITALARES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional e Tecnológica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Educação Profissional e Tecnológica.**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Maria Araújo Santos  
Coorientador: Prof. Dr. Luciano Caldeira Villanova

Santa Maria, RS  
2024

**Marion Silva da Silva**

**RECUPERAÇÃO MECÂNICA DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO DE BAIXA  
TEMPERATURA PARA USO EM CONTEXTOS HOSPITALARES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Profissional e Tecnológica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Educação Profissional de Tecnológica**.

**Aprovada em 9 de abril de 2024**

---

Leila Maria Araújo Santos, Doutora (UFSM)  
**Presidente/Orientadora**

---

Luciano Caldeira Villanova, Doutor (UFSM)  
**Vice-Presidente/Co-orientador**

---

Mauricio Fraga Silva, Doutor (UFSM)

---

Gustavo Nogara Dotto, Doutor (UFSM)

---

Ana Paula Schwarz, Doutora (UFN)

Santa Maria, RS  
2024

## **AGRADECIMENTOS**

À UFSM/CTISM, por conceder a realização deste Programa de Mestrado em Educação Profissional e Tecnológica (PPGEPT).

Ao professor Prof. Dr. Luciano Caldeira Villanova, co-orientador deste trabalho, pela paciência, compreensão, auxílio e ensinamentos nesta trajetória. Muito obrigado.

À professora Dra. Leila Maria Araújo Santos orientadora deste trabalho, por acreditar no potencial desta pesquisa, orientar os melhores caminhos para alcançar a escrita acadêmica.

À minha esposa, Magle Jakeline Rauber, que sempre me incentivou e entendeu minha ausência neste período.

Aos Colegas e amigos, Tadeu Baumhardt, e Thiago Victorino Claus, por auxiliar na organização e desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores componentes da banca examinadora da qualificação que me mostraram o caminho a seguir, Dr. Mauricio Fraga Silva, Prof. Dr. Gustavo Nogara Dotto e a Prof. Dra. Ana Paula Schwarz.

Silva da Silva, Marion  
RECUPERAÇÃO MECÂNICA DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO DE  
BAIXA TEMPERATURA PARA USO EM CONTEXTOS HOSPITALARES /  
Marion Silva da Silva.- 2024.  
75 p.; 30 cm

Orientador: Leila Maria Araújo Santos  
Coorientador: Luciano Caldeira Villanova  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Técnico Industrial, Programa de Pós  
Graduação em Educação Profissional e Tecnológica, RS, 2024

1. Máscaras Termoplásticas 2. Placas Termoplásticas  
3. Polímero Termoplástico I. Araújo Santos, Leila Maria  
II. Caldeira Villanova, Luciano III. Título.

*“Se hoje fosse o último dia da minha vida eu  
iria querer fazer o que estou prestes a fazer  
hoje”*

Steve Jobs

## RESUMO

### RECUPERAÇÃO MECÂNICA DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO DE BAIXA TEMPERATURA PARA USO EM CONTEXTOS HOSPITALARES

Autor: Marion Silva

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Leila Maria Araújo Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Caldeira Villanova

Nas últimas décadas, observou-se uma enorme tendência em reaproveitar os resíduos sólidos não biodegradáveis e formadores de lixo para confecção de novos produtos. Atualmente, a reciclagem e empregabilidade do termoplástico é bastante conhecida. O polímero termoplástico de baixa temperatura se apresenta como alternativa na confecção de vários dispositivos de tecnologia assistiva, pois agrega ótimas combinações de propriedades mecânicas. Composto por policaprolactana reticulada (PCL) e poliuretano (PU), sua aplicação na área de saúde está em destaque em dois setores distintos: na confecção de máscaras termoplásticas para fixação de pacientes em tratamento de cabeça e pescoço na Radioterapia e Tele terapia, e na Terapia Ocupacional. A última, na forma de placas termoplásticas para confecção de órteses adaptáveis para membros para melhor desempenhar as atividades diárias. Por meio de processos de recuperação mecânica de termoplásticos e de uma rede de recolhimento destes resíduos, envolvendo hospitais públicos e privados, instalou-se junto ao Programa de Mestrado em Educação Profissional e Tecnológica (PPGEPT) um projeto de pesquisa visando, através desta técnica, promover o reaproveitamento das máscaras termoplásticas descartadas. No ciclo normal de uso, as máscaras utilizadas para as devidas finalidades, são descartadas como resíduos sólidos hospitalares. A partir de um conceito de Ecologia Industrial e em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, justificam-se os estudos e pesquisas para o reaproveitamento deste material. Objetiva-se, desta forma, contribuir para minimizar os processos de degradação ambiental, agregando a vantagem da redução dos gastos públicos e colaborando no tratamento de pacientes da rede SUS. O estudo se justifica ainda por suas contribuições no desenvolvimento de novas tecnologias e na inovação do produto final, propondo a reutilização de um resíduo sólido hospitalar. Espera-se, por esta proposta, uma redução de custos ambientais e financeiros, agregando vantagens no tratamento de pacientes, que não teriam acesso a estas técnicas de tratamento. Como resultado, antecipa-se uma técnica viável para a fabricação de um produto proveniente do descarte, com a finalidade de uso em contextos hospitalares e com potencial de utilização em hospitais da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (Ebserh).

**Palavras-chave:** Máscaras Termoplásticas. Placas Termoplásticas. Polímero Termoplástico.

## ABSTRACT

### MECHANICAL RECOVERY OF LOW TEMPERATURE THERMOPLASTIC POLYMER FOR USE IN HOSPITAL SETTINGS

AUTHOR: Marion Silva

ADVISOR: Orientadora: Profa. Dra. Leila Maria Araújo Santos

CO-ADVISOR: Prof. Dr. Luciano Caldeira Villanova

In recent decades, there has been a huge tendency to reuse non-biodegradable and waste-forming solid waste to make new products. Currently, the recycling and employability of thermoplastic is well known. The low-temperature thermoplastic polymer presents itself as an alternative in the manufacture of various assistive technology devices, as it brings together excellent combinations of mechanical properties. Composed of cross-linked polycaprolactan (PCL) and polyurethane (PU), its application in the health sector is highlighted in two distinct sectors: in the manufacture of thermoplastic masks for fixation of patients undergoing head and neck treatment in Radiotherapy and Teletherapy, and in Occupational therapy. The latter, in the form of thermoplastic plates for making adaptable orthoses for limbs to better perform daily activities. Through mechanical recovery processes for thermoplastics and a collection network for this waste, involving public and private hospitals, a research project was established with the Master's Program in Professional and Technological Education (PPGEPT) aiming, through this technique, promote the reuse of discarded thermoplastic masks. In the normal cycle of use, masks used for their intended purposes are discarded as solid hospital waste. Based on a concept of Industrial Ecology and in line with the National Solid Waste Policy, studies and research into the reuse of this material are justified. The objective, in this way, is to contribute to minimizing the processes of environmental degradation, adding the advantage of reducing public spending and collaborating in the treatment of patients in the SUS network. The study is also justified by its contributions to the development of new technologies and innovation of the final product, proposing the reuse of solid hospital waste. This proposal is expected to reduce environmental and financial costs, adding advantages in the treatment of patients who would not have access to these treatment techniques. As a result, a viable technique is anticipated for the manufacture of a product from waste, with the purpose of use in hospital contexts and with potential for use in hospitals belonging to the Brazilian Hospital Services Company (Ebserh).

**Keywords:** Thermoplastic masks. Thermoplastic plates. Thermoplastic polymer.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano) em 2022 .....	19
Figura 2 - Órtese em Gesso .....	36
Figura 3 - Órtese em PCL.....	37
Figura 4 - Radiografia de Antebraço com órtese em gesso .....	38
Figura 5 - Radiografia de Antebraço com órtese em PCL. ....	38
Figura 6 - Recebimento de máscaras descartadas .....	41
Figura 7 - Triagem das máscaras descartáveis .....	41
Figura 8 - Moinho de facas utilizado no processo de moagem .....	42
Figura 9 - Projeção da forma de melhor aproveitamento do grão .....	44
Figura 10 - Projeção da forma do grão Cúbica.....	44
Figura 11 - Projeção da forma do grão Alongada .....	45
Figura 12 - Prensa RIMAQ .....	46
Figura 13 - Dispositivos de controles da prensa RIMAQ .....	46
Figura 14 - Placas metálicas adaptadas na prensa .....	47
Figura 15 - Molde metálico (alumínio) para confecção das placas.....	48
Figura 16 - Recolhimento e separação das máscaras .....	51
Figura 17 - Material sem Pressão Aquecido a Seco .....	52
Figura 18 - Material sem Pressão com Aquecimento a Úmido.....	52
Figura 19 - Material Moído e com pressão no aquecimento a úmido (sem molde).....	53
Figura 20 - Material Cortado com Tesoura .....	54
Figura 21 - Material Moído e com Pressão no Aquecimento a seco (com molde de alumínio) .....	55
Figura 22 - Demonstrativo das etapas .....	56
Figura 23 - Material retido de acordo com NBR NM 248 para análise de granulometria. ....	57
Figura 24 - Formas características.....	59
Figura 25 - Amostra de 200 grãos de obtidos pela peneira com furação de 12 mm .....	60
Figura 26 - Amostra de 200 grãos de obtidos pela peneira com furação de 10 mm .....	61
Figura 27 - Contaminação no material moído .....	62
Figura 28 - Massa da máscara completa.....	63
Figura 29 - Massa da moldura da MT .....	63
Figura 30 - Massa do material termoplástico de baixa temperatura.....	64
Figura 31 - Material moído.....	64

Figura 32 - Material moído e selecionado .....	65
Figura 33 - Distribuição do material moído no molde .....	66
Figura 34 - Placa finalizada .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedade dos materiais utilizados para as órteses – kg/cm <sup>3</sup> .....	35
Tabela 2 - Resistência à tração dos materiais – Mpa.....	35
Tabela 3 - Número de atendimentos, MT utilizadas e quantidades recolhidas, por instituição participante. ....	50
Tabela 4 - Resultados da Análise Granulométrica do Ensaio 01 de acordo com NBR NM 248 para as amostras N° 1 e N°2 .....	57
Tabela 5 - Resultados da Análise Granulométrica do Ensaio 02 de acordo com NBR NM 248 para as amostras N° 1 e N°2. ....	58
Tabela 6 – Determinação do Módulo de Finura (MF).....	58
Tabela 7 - Média e medidas de dispersão do Módulo de Finura.....	60

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	16
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	17
1.3 OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1 Objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS VISÃO GERAL DO BRASIL .....	19
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS HOSPITALARES .....	20
<b>2.2.1 Resíduos de serviços de saúde.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2 O uso de polímeros nos meios hospitalares .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3 Efeitos à saúde pública .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.4 Gestão dos resíduos .....</b>	<b>24</b>
2.3 LEGISLAÇÃO .....	26
<b>2.3.1 Gestão dos resíduos sólidos hospitalares no Hospital Universitário de Santa Maria .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2 Ecologia industrial.....</b>	<b>29</b>
2.4 POLÍMEROS .....	31
<b>2.4.1 Classificação dos Polímeros .....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.2 Composição ou estrutura química .....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.3 Em relação às forças de atração molecular.....</b>	<b>32</b>
2.5 PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS EM RELAÇÃO AOS MATERIAIS DE FABRICAÇÃO DE ÓRTESES.....	33
<b>2.5.1 Máscara termoplástica .....</b>	<b>39</b>
<b>2.5.2 Placa termoplástica.....</b>	<b>39</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1 ETAPA 1: RECOLHIMENTO DO MATERIAL TERMOPLÁSTICOS.....	40
3.2 ETAPA 2: TRIAGEM E LIMPEZA DO MATERIAL RECOLHIDO.....	41
3.3 ETAPA 3: MOAGEM DO MATERIAL LIMPO .....	42
3.4 ETAPA 4: TESTES E PADRONIZAÇÃO DO MATERIAL MOÍDO .....	42
<b>3.4.1 Análise granulométrica .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.2 Determinação do índice de forma .....</b>	<b>43</b>

<b>3.4.3 Avaliação de contaminantes do polímero</b> .....	<b>45</b>
3.5 ETAPA 5: MOLDAGEM.....	45
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>49</b>
4.1 PROCESSO DE RECOLHIMENTO DO MATERIAL.....	49
4.2 PROCESSAMENTO DAS MÁSCARAS.....	51
<b>4.2.1 Análise granulométrica</b> .....	<b>56</b>
<b>4.2.2 Índice de forma</b> .....	<b>59</b>
<b>4.2.3 Avaliação de contaminação do material moído</b> .....	<b>61</b>
4.3 FABRICAÇÃO DA PLACA .....	62
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade humana, doméstica ou laboral, produz resíduos. Por exemplo, no ano de 2020 a média de geração de resíduos sólidos foi de 1,01 kg/habitante/dia, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020). Se comparada com o ano anterior, aumentou em 2%, representando um aumento de 1,5 milhão de toneladas de resíduos sólidos coletados.

Os resíduos sólidos têm sido, desde 2010, objeto de políticas públicas no Brasil na direção de reduzir a sua geração, aumentar o reuso e reciclagem, promover a destinação final adequada e instituir a gestão adequada de Resíduos Sólidos Urbanos nas municipalidades brasileiras. A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, representou um marco positivo na legislação brasileira ao exigir ações e maior transparência dos setores públicos e privados na gestão dos seus resíduos.

A gestão de resíduos sólidos também tem sido objeto de estudos acadêmicos, em especial no Brasil, dos quais muitos estão relacionados à utilização de modelos de Dinâmica de Sistemas para apoio à decisão, como apontam Sancheta, Chaves e Siman (2021). Com a atenção voltada para áreas específicas, como as relações entre crescimento populacional e geração de resíduos, modelos de reciclagem como forma de destinação final de resíduos, e, segundo os autores, na maior parte dos trabalhos com foco em um aspecto específico do Manejo de Resíduos Sólidos para as análises e simulações (IPEA, 2020). Sancheta, Chaves e Siman (2021) também observam que há um *gap* de trabalhos nas áreas operacionais específicas de coleta e outros serviços relacionados à esta etapa do manejo.

O impacto ambiental causado em decorrência do desenvolvimento das atividades tecnológicas, em conformidade com a expertise das ações humanas sobre a natureza, é o pilar do presente trabalho. Seu caráter é positivo, quando resulta em avanços para o meio ambiente, e negativo se as alterações causam risco de algum grau para os seres vivos (ABRELPE, 2023).

Atualmente, os materiais poliméricos de uso único são vistos pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), como um dos resíduos sólidos que demonstram maior risco de dano ambiental em termos de poluição (UNEP, 2020). Para situar a atenção na gravidade destes dados, conforme o levantamento do PNUMA de 2018, entende-se que a sociedade possui condições de produzir no período de um ano, aproximadamente trezentos milhões de toneladas de rejeitos poliméricos, isto ocasiona uma agressão ao meio ambiente e causa um desastre mundial sem precedência na nossa história (UNEP, 2020).

Assim, o debate sobre os danos ambientais que a natureza causa e os efeitos que este fenômeno tem sobre a vida no planeta está aumentando em escala global. Nesse sentido, várias pesquisas têm sido realizadas para minimizar esses impactos negativos e agressivos no meio ambiente, propondo medidas para conscientizar a sociedade e, por conseguinte, estimular novas políticas ambientais. Santos et al (2023) buscaram analisar o impacto do uso de diferentes polímeros flocculantes, já Zanatta e Raupp (2022) destacam a importância dos polímeros para a debate da sustentabilidade ambiental. Além disso, novas práticas e estratégias de reutilização desses materiais que agridem a natureza são necessários para promover melhorias no desenvolvimento ambiental e econômico.

Os Protocolos de Montreal e Kyoto<sup>1</sup>, tratados internacionais de defesa do meio ambiente e da vida, controlam gases que provocam o buraco na camada de ozônio e o efeito estufa, respectivamente, resultantes de atividades industriais e uso da terra (SILVA, 2009). Para Barbieri (2020) quando se fala em sustentabilidade é importante destacar a Agenda global 2030, a mesma é um compromisso assumido por líderes de 193 Países, inclusive o Brasil, e coordenada pelas Nações Unidas, por meio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), nos termos da Resolução A/RES/72/279.

Em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os mesmos se caracterizam por serem toda a substância, objeto, material ou bens descartados após a utilização pela atividade humana em sociedade. No vasto mundo dos resíduos sólidos, destaca-se um em especial, os que contém em sua formulação os polímeros termoplásticos e elastômeros aos quais levam muitos anos para degradar se descartados na natureza (BRASIL, 2010),

Os compósitos poliméricos<sup>2</sup> apresentam hoje na nossa sociedade de consumo uma matéria-prima de fácil manipulação (OLIVEIRA; DIAS; SILVA, 2023). A presença dessa característica os destaca na produção de produtos para uso doméstico, industrial e hospitalar, oferecendo materiais e equipamentos acessíveis para as unidades de saúde. Santos (2021) divaga que os mesmos, carregam em seu consumo uma dualidade: se por um lado agrega os benefícios na produção de bens, por outro lado contribuem em certa medida na degradação do meio ambiente quando mal descartados. Evidenciam assim, a necessidade do pensamento e elaboração constante dos processos de reaproveitamento dos materiais poliméricos.

---

<sup>1</sup> O Protocolo de Montreal, criado em 1987, e o de Kyoto, de 1997 são tratados internacionais de grande porte. O primeiro, com 191 signatários, e o segundo, 174. Ambos dizem respeito à defesa do meio ambiente, evitando que atividades humanas (antrópicas) inviabilizem a vida sobre a terra, poluindo-a e degradando-a.

<sup>2</sup> Compósito polimérico é resultado da mistura entre dois materiais.

Para Melo (2022) atualmente, há um aumento na tendência de produzir novos produtos reciclando produtos não biodegradáveis de resíduos. O Brasil é integrante ativo do grupo de países produtores de resíduos descartáveis pelo uso de materiais poliméricos, contudo, apenas uma pequena parte destes resíduos são recuperados para o reuso (BOSQUILIA, 2021). Sabe-se que quanto menos resíduos forem reaproveitados/recicladados maior será a degradação (MENDOZA, 2020).

Para Santos e Santana (2023) Como resultado, esta discussão deve ser levada ao público em geral por meio de instituições educacionais e acadêmicas com o objetivo de incentivar a implementação de projetos de reaproveitamento de resíduos, especialmente os provenientes de polímeros. Portanto, é evidente que essa reflexão também é importante no contexto hospitalar, considerando a quantidade e a complexidade dos resíduos hospitalares gerados durante os diversos tratamentos realizados.

Pelo conceito, resíduo hospitalar é todo resíduo oriundo de descarte por hospitais, clínicas, postos de saúde, farmácias, laboratórios de análises clínicas, humano ou veterinário, que possam produzir qualquer tipo de contaminações cruzadas por secreções ou sujidade de resíduos biológicos (OLIVEIRA, 2020).

Os resíduos hospitalares possuem necessidades especiais no que tange seu gerenciamento. Esta necessidade decorre do fato de que estes materiais podem oferecer um grave risco à saúde humana ou efeitos negativos ao meio ambiente quando não forem manipulados e descartados conforme as normas estabelecidas. Em nosso país, até 2004, tais rejeitos eram tratados de forma semelhante aos resíduos domiciliares e públicos. Foi, então, a partir da ação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) juntamente com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA n. 358/2005 que foram atribuídas competências aos geradores de resíduos sólidos hospitalares e classificação aos resíduos. A resolução prevê ainda responsabilidades e sanções pelo seu descumprimento quanto ao estabelecido para o correto gerenciamento dos mesmos (BRASIL, 2005).

No Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Maria (HUSM-UFSM), atendem-se pacientes que estão em tratamento radioterápico de neoplasias na região da cabeça e pescoço. Na radioterapia, tratamento em teleterapia, a radiação ionizante deve ser aplicada exatamente no local determinado para atingir as células tumorais. Para tanto, é fundamental a correta marcação do local da aplicação de dose radioativa, mantendo sua exatidão durante todo o tratamento.

Esta marcação do alvo tumoral segue a orientação do planejamento de tratamento, podendo ser utilizado acessórios de fixação no paciente para garantir a precisão do processo.



Anterior ao uso dos acessórios de fixação, a marcação no paciente era realizada com tinta especial (fucsina básica 50g) diretamente sobre a pele do paciente, permanecendo visível durante todo o tratamento. Além da necessidade de ser retocada a marcação estigmatizava o paciente, pois o caracterizava como doente. Para restabelecer a dignidade outros meios foram estabelecidos, em especial com o uso de fixadores na forma das Máscaras Termoplásticas (MTs) produzidas em materiais poliméricos.

Surge aqui um novo problema: o uso das MTs como fixadores e suporte para a marcação passaram a engrossar os itens que constituem os resíduos sólidos hospitalares.

Na presente pesquisa, examinaremos uma possível solução para o resíduo sólido hospitalar produzido pelo uso dos fixadores no processo de tratamento radioterápico. A proposta de solução objetivará o reaproveitamento dos resíduos das MTs que seriam descartadas para uso em outros contextos dentro do próprio ambiente hospitalar, utilizando um método mecânico para a transformação deste produto em placas termoplásticas.

Pelo exposto, é exatamente aqui que entra a questão fundamental colocada como problema na presente dissertação, ou seja, encontrar uma solução viável para o reaproveitamento dos Polímeros Termoplásticos (PTs) da MTs descartadas para a fabricação de placas termoplásticas e contribuir para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte deste material.

As placas termoplásticas produzidas pelo processo de recuperação mecânica do polímero de descarte poderão ser aplicadas em novos tratamentos como a tecnologia assistiva<sup>3</sup>.

A MT como instrumento de imobilização e fixação de cabeça e pescoço, utilizada em tratamento na teleterapia, é atualmente a melhor opção, tornando-as indispensáveis no processo. Por ser a MT constituída de polímeros, é conveniente considerarmos o comportamento de consumo e apontarmos a necessidade de reaproveitamento deste material, minimizando assim, os processos de degradação ambiental, diminuição dos custos energéticos de fabricação e financeiros.

As máscaras termoplásticas possuem valor de aquisição significativo no custo do tratamento U\$ 22,00, enquanto as placas termoplásticas, por sua vez, custam aproximadamente U\$ 97,00. Estes custos são significativos para instituições públicas com orçamentos por vezes restritos. Conclui-se assim, que seja fundamental encontrar novas alternativas que visem a redução de custos sem comprometer a qualidade do tratamento para o paciente. Esperamos

---

<sup>3</sup> Tecnologia assistiva é o termo usado para identificar recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência, promovendo vida independente e inclusão.

mostrar neste estudo que a reutilização das MT surge como um método inovador na fabricação de placas termoplásticas, implicando na redução do valor dos tratamentos.

Pelo que tentamos expor, e compreendendo a necessidade ambiental, econômica e social dos processos de reciclagem e reaproveitamento, buscamos comprovar mediante o estudo experimental a possibilidade de reuso de resíduos sólidos hospitalares para a confecção de produtos economicamente viáveis, permeado pelo conceito de ecologia industrial. Sendo assim, consideramos como problema de pesquisa obter um processo que minimize o impacto ambiental provocado pelo rejeito das máscaras de polímeros termoplásticos, transformando-as em placas planas de material polimérico de baixa temperatura para uso em pacientes da rede SUS, similar às placas usadas como órteses na terapia ocupacional.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O presente estudo se justifica por suas contribuições no desenvolvimento de novas tecnologias e na inovação do produto final, propondo a reutilização de um resíduo sólido hospitalar. Espera-se, por esta proposta, uma redução de custos ambientais e financeiros, agregando vantagens no tratamento de pacientes, que não teriam acesso a estas técnicas de tratamento.

Este estudo é necessário porque o descarte inadequado de resíduos poliméricos em hospitais é um problema econômico e ambiental cada vez maior. Devido à sua versatilidade e características biocompatíveis, os polímeros termoplásticos são amplamente utilizados e produzem uma quantidade considerável de resíduos sólidos.

A gestão inadequada desses resíduos leva a poluição ambiental e aumenta os custos operacionais em instituições de saúde. A reciclagem desses materiais para a fabricação de novos produtos úteis não apenas diminui os efeitos negativos, mas também aumenta a sustentabilidade no setor de saúde. Esta pesquisa apresenta uma solução útil para a recuperação de materiais descartáveis, reduzindo o acúmulo de resíduos e promovendo uma cultura de responsabilidade ambiental nos hospitais.

Outro ponto que vale destaque é que este estudo se adequa como uma ferramenta para o cumprimento da Agenda 2030. A mesma é um apanhado de metas, norteadores e perspectivas definidos pela ONU para atingirmos a dignidade e a qualidade de vida para todos os seres humanos do planeta, sem comprometer o meio ambiente, e, conseqüentemente, as gerações futuras.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Seguindo a ideia de Simon (1996), entende-se que a definição do problema de pesquisa é um aspecto vital para a determinação da solução mais adequada para o caso real, ou pelo menos parcialmente adequada, amenizando o caso real em vez de agravá-lo.

Realizando uma análise de alguns indicadores do Diagnóstico Temático do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), em especial o indicador IN031 (Taxa percentual de recuperação de recicláveis em relação à quantidade de RDO e RPU), que se relaciona diretamente com um dos objetivos da PNRS, a Reutilização e Reciclagem (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018), percebe-se que a implementação do Plano Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) encontra-se bastante limitada, pois a grande maioria dos municípios sequer considera as informações sobre coleta seletiva e recuperação de recicláveis

Como os resíduos de polímeros termoplásticos, particularmente máscaras descartadas nos hospitais, podem ser reciclados e transformados em placas reutilizáveis para aplicações médicas, economizando recursos e reduzindo o impacto ambiental? Essa questão surge em um momento crucial, enquanto a pressão sobre os sistemas de gestão de resíduos aumenta e as pessoas buscam soluções sustentáveis. A capacidade de reutilizar esses materiais não apenas diminui os problemas relacionados ao descarte desses materiais, mas também permite melhorias significativas na sustentabilidade e eficiência de custos no sistema de saúde.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

A presente proposta de dissertação tem por objetivo geral desenvolver uma alternativa para o problema dos resíduos de polímeros no meio ambiente, diminuindo assim, o impacto ambiental de seu descarte.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar, no setor de radioterapia, materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura que, ao serem descartados, possam ser reaproveitados em processos de reciclagem;

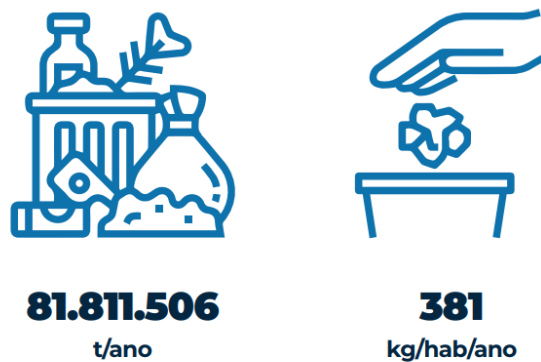
- Pesquisar e relatar técnicas para o reaproveitamento dos materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura;
- Propor o desenvolvimento de um processo de reciclagem e aproveitamento da matéria-prima extraída dos materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS VISÃO GERAL DO BRASIL

O Brasil produziu 81,8 milhões de toneladas de RSU em 2022, ou 224 mil toneladas diárias, de acordo com os gráficos e as tabelas a seguir. Assim, em média, cada brasileiro produz 1,043 kg de resíduos por dia. Os dados registrados em 2022 mostram uma curva regressiva no número de RSU gerados no país. As possíveis causas podem ser atribuídas às novas dinâmicas sociais, como a redução da quantidade de resíduos gerados em escritórios, empresas e escolas, a menor utilização de serviços de entrega em comparação com o período de isolamento social mais longo e a variação no poder de compra de uma parte da população (ABRELPE, 2023). A geração diária por habitante é bastante homogênea entre as regiões; a região sudeste tem a maior geração, com 1,234 kg/hab/dia, enquanto a região sul tem uma geração média de 0,776 kg/hab/dia (ABRELPE, 2023).

Figura 1 - Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano) em 2022



Fonte: ABRELPE (2023)

A geração de resíduos pelas diversas atividades humanas é um dos problemas que merece atenção especial neste sentido. Atualmente, a geração de resíduos é um grande problema a ser enfrentado, especialmente em grandes cidades. A partir da segunda metade do século XX, os avanços tecnológicos trouxeram novos padrões de consumo que aumentaram a produção de resíduos a um ritmo que supera a capacidade natural de absorção. Além de sua grande quantidade, o descarte inadequado desses resíduos pode colocar em risco a qualidade de vida e os recursos naturais para as gerações atuais e futuras (MEDEIROS; FONTGALLAND, 2022).

Para Oliveira (2022) nos últimos anos, o problema dos resíduos hospitalares tem aumentado significativamente. Para evitar danos ao meio ambiente, é essencial que as peças anatômicas, os tecidos, as bolsas transfusionais com sangue, medicamentos, reagentes, saneantes, inflamáveis, materiais de medicina nuclear e radioterapia, restos alimentares, roupas descartáveis e materiais perfurocortantes sejam descartados corretamente. Como resultado, foram estabelecidas políticas públicas e leis sobre o gerenciamento de resíduos hospitalares com foco na preservação da saúde e na sustentabilidade ambiental. A seguir será apresentado mais detalhes

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS HOSPITALARES

Pesquisadores e gestores públicos têm discutido o resíduo hospitalar sobre a geração, gerenciamento, manuseio, segregação, acondicionamento, transporte, tratamento, destinação final e a possibilidade de afetar o ecossistema e o meio ambiente (HRENOVIC et al., 2019; NITIKA et al., 2017).

Os resíduos hospitalares são convencionalmente divididos em duas categorias: resíduos perigosos e não perigosos. São normatizados por órgãos governamentais, seguidos por convenções e cada Estado trabalha a regulamentação e fiscalização própria. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamentou as boas práticas de gerenciamento dos Resíduos dos serviços de saúde através da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 222/2018.

O resíduo perigoso, que pode ser poluente, passa por vários processos antes de ser descartado final no gerenciamento de resíduos hospitalar. Ambos, no entanto, podem afetar a biota de forma aguda ou crônica por causa de contaminação do solo, águas residuárias ou superficiais ou ar, acidente ou infecção (KWIKIRIZA et al., 2019).

Para Farzadkia et al. (2018), os resíduos médicos incluem materiais perfurocortantes, tecidos humanos, partes do corpo, substâncias farmacêuticas, patológicas, radioativas e químicas, roupas, têxteis e outros materiais infecciosos. Além disso, enfatiza que o resíduo, além de ser diretamente infeccioso, tem a capacidade de contaminar os ambientes hídricos e colocar em risco pacientes e profissionais de saúde, bem como outras pessoas que não estão no hospital. Para Irianti (2016), o resíduo hospitalar é um subproduto das atividades do serviço hospitalar, e uma pequena quantidade dele representa um risco significativo para a saúde dos funcionários do hospital, operadores de resíduos, comunidade e meio ambiente.

O número de leitos por indivíduo não é o único fator que está diretamente associado ao resíduo hospitalar; a estrutura de desenvolvimento do Estado, as especialidades médicas e as atividades envolvidas também desempenham um papel. Os países desenvolvidos têm mais resíduos hospitalares do que os países subdesenvolvidos. Isso se deve ao fato de que eles têm uma ampla gama de serviços médicos e mais oportunidades de tratamento devido à tecnologia, o que leva a um acúmulo de resíduos médicos e a uma questão cada vez mais urgente (AL-KHATIB; ELEYAN; GARFIELD, 2016).

### **2.2.1 Resíduos de serviços de saúde**

Os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), são classificados pela Resolução nº 222, da Diretoria Colegiada da Vigilância Sanitária, de 28 de março de 2018 (ANVISA, 2018), em 5 grupos, sendo eles:

GRUPO A: Constituído pelos resíduos que proporcionam agentes biológicos sujeitos a risco de infecção.

GRUPO B: Resíduos contendo produtos químicos que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente;

GRUPO C: Constituído pelos rejeitos radioativos;

GRUPO D: Constituído pelos resíduos que não oferecem risco químico, biológico ou radiológico, podendo, portanto, ser igualados aos resíduos domiciliares;

GRUPO E: Constituídos pelos resíduos escarificantes ou perfuro cortantes, tais como: bisturis, lâminas de barbear, ampolas de vidro, agulhas, pontas diamantadas, e outros semelhantes.

A Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2019) – reporta que a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estende a definição através de suas regulações: a RDC ANVISA 306 de 2004 (ANVISA, 2004) e a Resolução CONAMA 358 de 2005 (BRASIL, 2005).

De acordo com Cussioli (2020), os RSS são gerados nas etapas de atendimento, cuidado, diagnóstico e tratamento de pacientes em estabelecimentos tais como hospitais, farmácias, drogarias, clínicas veterinárias, consultórios médicos, clínicas médicas e odontológicas, ambulatórios, unidades básicas de saúde, laboratórios de análises clínicas e patológicas, centros de hemoterapia, unidades de hemodiálise e em centros de pesquisa biomédica.

Para Schneider e Emmerich (2015), os RSS são materiais que contêm em sua composição várias estruturas químicas e físicas, exigindo técnicas adequadas para seu manuseio, limpeza, armazenamento e destinação final, pois grande parcela traduz-se em um risco eminente para a saúde dos seres vivos e ecossistema na totalidade. Os resíduos podem ser definidos como material inservível na sua função original e seu material de confecção pode ser aproveitável para outra função diminuindo o montante de rejeitos, desde que haja um controle sobre a classificação do material com potencial de reaproveitamento.

Os RSS, quando aproveitáveis, podem ser fundamentais para algumas organizações podendo agregar renda aos seus colaboradores ou fornecer matéria prima para um determinado processo produtivo. Destacamos assim, que a importância do reuso dos descartes apresenta não somente valor para o meio ambiente, mas também valores sociais e econômicos.

### **2.2.2 O uso de polímeros nos meios hospitalares**

As unidades de saúde e os profissionais da área migraram, em meados da década de 1970, para o uso de equipamento e materiais de base polimérica. Os materiais a base polimérica nos meios hospitalares, são empregados em produtos com grande diversidade de aplicação como próteses, órteses, adesivos medicamentosos com micro agulhas, seringas, luvas, recipientes intravenosos e materiais para procedimentos invasivos entre outros não menos importantes. Isto, deve-se ao fato de os polímeros apresentarem uma ótima relação custo/benefício e por sua biocompatibilidade, demandando pouco gasto energético na sua produção quando comparado a outros materiais (FORTUNA, 2020).

Os equipamentos descartáveis de uso único foram valorizados em sua comercialização por sua utilização individual que garante segurança contra contaminação por patógenos cruzados entre os procedimentos, agregando confiança e maior conforto ao paciente. A praticidade, aliada ao baixo custo, incrementa a demanda aos descartáveis, e promoveram maior agilidade e rapidez, aumentando os benefícios efetivos para saúde.

Com o tempo, as indústrias de instrumentos cirúrgicos perceberam que produzir descartáveis tornou-se mais lucrativo do que produzir reutilizáveis em virtude da maior rotatividade. Pelo lado das instituições de saúde, o uso único ofereceu vantagens em relação à diminuição das infecções hospitalares, cuja origem poderia ser alguma falha nos processos de descontaminação dos equipamentos. Como consequência, o tempo médio de internação foi diminuído pela queda nos riscos de infecções.



Embora este processo tenha ocorrido em todas as instituições de saúde, como as clínicas e os laboratórios, foram os hospitais que ocuparam substancialmente o primeiro lugar na produção de resíduos descartáveis após procedimentos e intervenções de saúde.

Nos EUA, os hospitais “representam 1% de todas as instituições ligadas à saúde, porém são responsáveis por mais de 70% do resíduo médico produzido” (UNEP, 2012, p.3). Desta forma, não há como se descartar que este processo e a sua intensidade sejam semelhantes em outros países, dado que em economias globalizadas estas atitudes devam ser similares.

Esta realidade descrita aponta para a necessidade de planos e projetos para responder à questão básica: o que fazer com a quantidade significativa de resíduos (principalmente de polímeros) produzidos pelos hospitais? Como pensar uma forma de reaproveitamento ou reutilização destes resíduos, ou de suas matérias-primas?

O que se sabe é que não é possível uma passividade, e um conformismo sobre essa realidade. Por isso é necessário que, entre outros, o meio acadêmico, em suas estruturas e instituições, se debruce na busca de alternativas de soluções, para que esta questão seja resolvida ou, ao menos, minimizada.

### **2.2.3 Efeitos à saúde pública**

O gerenciamento e manejo não planejado dos resíduos sólidos urbanos podem gerar impactos negativos ao meio ambiente e ao homem. Considerando-se o aumento populacional onde é inevitável haver um crescimento exponencial do problema, os resíduos sólidos hospitalares vêm adquirindo destaque no agravamento do problema ecológico contemporâneo.

O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização e a revolução tecnológica vêm sendo acompanhados por alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população. Como decorrência direta desses processos, vem ocorrendo um aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade, principalmente nos grandes centros urbanos. Além do acréscimo na quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas ao cotidiano (GOUVÊIA, 2012, p. 82).

Os impactos ambientais originários das múltiplas formas de descarte de resíduos sólidos oferecem riscos inumeráveis à saúde humana. A sua distribuição no solo, seja em lixões ou nos aterros, constitui importante fonte de exposição a variedade de substâncias tóxicas.

Hospitais, centros e unidades de tratamento de saúde têm responsabilidade pelo seu resíduo produzido, desses em torno de 15% podem ser tóxicos, infecciosos ou radioativos. A

Organização Mundial da Saúde (OMS), abordou este problema a partir da década de 1980, primeiro com foco nos países ricos e depois focada nos países pobres. Nestes últimos, os métodos de eliminação dos resíduos hospitalares eram inseguros, possuindo aterros sanitários e incineradores impróprios, o que gerava preocupação (BOROWY, 2020).

Tanto a OMS quanto a Organização Pan-americana da Saúde (OPAS) são instituições que lamentam a falta de conscientização da sociedade no que diz respeito ao descarte de resíduos sólidos hospitalares. Isso pode estar relacionado, de certa forma, ao treinamento inadequado sobre gestão dos resíduos e a falta de recursos financeiros destinados a esse processo (OPAS, 2022).

Ainda no que se refere a OMS, os dados apontam que a porcentagem de países que contam com sistemas reguladores de descarte de resíduos hospitalares fica em torno de 58%, e mesmo assim não possuem políticas específicas destinadas ao descarte correto. Afirma-se ainda, que mesmo naqueles países que possuem sistemas reguladores, em muitos deles os sistemas reguladores não vigoram. Diante disso, a OMS destaca a importância de elaborar e efetivar políticas que possuem a finalidade de enfrentar problemas crescentes, para ser possível um futuro seguro e o desenvolvimento de pessoas com pensamentos ambientalmente responsáveis (OPAS, 2022).

#### **2.2.4 Gestão dos resíduos**

O problema relacionado à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) está se tornando cada vez mais grave, principalmente devido ao aumento do consumo e consequente produção de resíduos sólidos. A atitude da sociedade contemporânea em relação ao uso crescente de produtos com ciclos de vida mais curtos e embalagens descartáveis também tem contribuído para a precariedade da gestão de RSU, na qual a gestão não é totalmente destacada como um dos maiores problemas de saúde e meio ambiente do mundo. (GONÇALVES; TANAKA; AMEDOMAR, 2013; FERREIRA; BARROS, 2021).

Diversos impactos à saúde e ao meio ambiente associam-se à indevida gestão de RSU, entre os quais se destacam a proliferação de vetores de doenças, o acúmulo de resíduos e consequente poluição visual das vias públicas, os alagamentos das vias em decorrência da obstrução dos sistemas de drenagem, a contaminação dos solos e dos cursos d'água e as doenças respiratórias, além de dengue e disfunções gastrointestinais (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Destaca-se que a falta de adequados planejamento e gerenciamento de resíduos sólidos

acarreta não só em prejuízos à qualidade de vida da população e ao ambiente, mas em elevação de custos com o manejo desses resíduos (BARROS, 2012).

No Brasil, entrou em vigor a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Nessa lei, estabeleceram-se metas e prioridades associadas à melhoria da gestão dos RSU, as quais refletem um inevitável aumento dos custos e investimentos com o manejo de RSU. Segundo a Secretaria do Tesouro Nacional (STN), a gestão da limpeza urbana está entre o terceiro e o quarto maior gasto das gestões municipais nacionais (STN, 2019). Estima-se que os municípios brasileiros tenham despendido, em média, R\$ 124,44/ano per capita com os serviços de limpeza urbana (ABRELPE, 2017).

A gestão adequada dos resíduos sólidos é essencial para a preservação do meio ambiente e da saúde pública. Ao serem descartados em aterros sanitários, esses materiais se deterioram e comprometem a qualidade do ar, da água e do solo.

Como produto da decomposição do material orgânico nos aterros, um líquido espesso de coloração escura denominado chorume pode ser eliminado para o meio ambiente. Este produto contamina o solo e o lençol freático inviabilizando-os para uso. Nos aterros também se verifica a formação de gás metano altamente tóxico, asfíxiante e explosivo e com elevado potencial de aumentar o efeito estufa na atmosfera.

Os aterros sanitários onde são depositados estes resíduos, tanto enterrados ou ao ar livre, caracterizam-se por locais altamente suscetíveis à proliferação de vetores, transmitindo uma larga variedade de doenças aos humanos. Por outro aspecto o ato de queima direta ou por incineradores sem uso de materiais licenciados e averiguados pelos órgãos competentes de vigilância, podem levar a danos irreparáveis à camada de ozônio (BRASIL, 2013).

Os tratamentos destinados à fase final dos resíduos estão vinculados à sua origem, em que se pode salientar o lixo hospitalar, com um destino regulamentado e rastreado devido à sua característica altamente perigosa na proliferação de danos ambientais, que pode colocar em risco toda a população.

Assim, os resíduos hospitalares podem representar risco à saúde humana e ao meio ambiente se não houver adoção de procedimentos técnicos adequados no manejo dos diferentes tipos de lixo gerados que são produzidos no ambiente hospitalar (SANTOS, 2018).

É importante ressaltar que um bom processo de gestão é condição essencial para o êxito ou o fracasso do tratamento dos resíduos sólidos. Sendo preciso destacar que “o gerenciamento dos resíduos sólidos hospitalares se tornou uma questão essencial para a saúde humana e para a preservação e conservação da natureza. O acondicionamento, a coleta, o transporte, o

tratamento e a disposição final são fases importantes, que possibilitam a promoção da saúde pública, bem-estar social e viabilidade econômica” (SITUBA, 2020).

Pelo exposto, podemos concluir que o destino proferido aos resíduos hospitalares com vistas ao reaproveitamento é essencial para a busca de uma sustentabilidade ambiental e econômica mais razoável, eliminando ou retardando o descarte para o meio ambiente de materiais potencialmente poluidores.

### 2.3 LEGISLAÇÃO

A ANVISA institui que todo gerador de RSS é responsável por estabelecer o correto gerenciamento dos resíduos sólidos hospitalares produzidos por ele. Além disso, também estabelece que é obrigação do gerador de RSS a elaboração e a disposição de um Plano de Gerenciamento de RSS (ANVISA, 2021).

Os resíduos sólidos hospitalares exigem cuidados especiais no gerenciamento do seu manejo. Estas exigências surgem do fato de que estes materiais apresentam riscos potenciais para o meio ambiente e riscos biológicos à população (COSTA, 2009). De acordo com a ANVISA (2004) as etapas do gerenciamento são: identificação, segregação, acondicionamento, transporte interno, armazenamento temporário, armazenamento externo, coleta e transporte externo, tratamento e destino final.

Segundo manual de procedimentos da Ebserh e conforme prevê o artigo 14 da Resolução CONAMA n. 358, de 29 de abril de 2005. (EBSERH, 2021a, p.1).

É obrigatória a segregação dos resíduos na fonte e no momento da geração, de acordo com suas características, para fins de redução do volume dos resíduos a serem tratados e dispostos, garantindo a proteção da saúde e do meio ambiente. Responsáveis pela segregação: servidores e empregados públicos, acadêmicos, residentes, terceirizados, acompanhantes e pacientes.

Em função deste risco, os geradores desses resíduos são monitorados pelos órgãos de fiscalização, podendo os mesmos aplicar sanções a qualquer momento que for identificado o mau gerenciamento do fluxo interno ou externo do seu resíduo.

Por este motivo, é primordial o gerenciamento correto e, assim, seguir as orientações dos órgãos responsáveis, caso contrário, a instituição de saúde sofrerá multas e até interdições, como prevê o artigo 29 do CONAMA. O mesmo prevê que pelo não cumprimento da Resolução o infrator estará sujeito às penalidades e sanções, de acordo com o que prevê a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e seu Decreto Regulamentador (BRASIL, 2005).

A gestão de resíduos de saúde precisa se adequar às normas estabelecidas, já que elas influenciam no nível de qualidade do gerenciamento (RIBERO, 2004). Assim, demonstra-se até aqui a importância da adequação dos estabelecimentos de saúde, tanto humana como animal, às normas e leis de proteção ambiental com suas regulamentações no âmbito de todos os entes das esferas Municipais, Estaduais e Federais.

Apesar da existência de leis ambientais brasileiras, o gerenciamento dos resíduos sólidos continua sendo um problema a ser superado em pleno século XXI (SITUBA, 2020). Perante as normas brasileiras (NBRs), os resíduos classificados como lixo hospitalar tem um destino de descarte de acordo com sua classificação interna e padrão para todos os estabelecimentos de acordo com sua periculosidade e condições físicas, minimizando assim, os danos à sociedade humana e ao meio ambiente.

Posto isso, destaca-se que a Agência Nacional de Vigilância Sanitária delibera sobre a gestão dos resíduos de saúde, devendo este procedimento ser planejado observando por base “um conjunto de procedimentos técnicos e científicos, o qual tem a finalidade de destinar esses resíduos perigosos de forma adequada” (SITUBA, 2020, p.2).

Já o PGRSS deve ter o objetivo de otimizar a diminuição de resíduos sólidos hospitalares. O referido programa deve estabelecer procedimentos e treinamentos do corpo técnico, adequado às legislações e normas vigentes no que se relaciona às etapas do gerenciamento dos RSS. Assim, proporciona aos resíduos sólidos hospitalares gerados uma destinação que seja segura e adequada, visando também a saúde dos trabalhadores, a manutenção da saúde pública e do meio ambiente.<sup>4</sup>

Em sequência, a legislação dentro de seus limites, no que constitui a burocracia do Estado, deve servir como orientação básica a ser seguida para o correto gerenciamento dos RSS pelas instituições de saúde.

Dentro destas perspectivas fundamentadas pelos autores abordados, conclui-se necessário um planejamento eficiente para o manejo dos resíduos sólidos hospitalares, devendo este ocorrer em comum associação entre as unidades de saúde privada e pública e as entidades públicas responsáveis pela regulamentação ambiental.

### **2.3.1 Gestão dos resíduos sólidos hospitalares no Hospital Universitário de Santa Maria**

---

<sup>4</sup> Estas e outras informações referentes são encontradas do site da ANVISA: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/saneantes>

O Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) possui um setor de Higienização e Gestão de Resíduos (SHGR) responsável por realizar atividades de apoio para promover a limpeza e a organização na Instituição. O propósito é manter um ambiente seguro para o público que frequenta o Hospital (pacientes, funcionários, visitantes, acompanhantes e demais clientes do HUSM).

O Setor de Hotelaria Hospitalar (STHH) está subordinado, respectivamente, à Divisão Logística e Infra-estrutura Hospitalar, à Gerência Administrativa e à Superintendência. Os servidores devem participar das capacitações específicas, conforme plano anual de capacitação e das atividades realizadas pelo Núcleo de Educação Permanente em Saúde do HUSM, para poderem desempenhar suas atividades de forma segura, responsável e com qualidade.

Faz-se por bem salientar, que para dar base ao relato de como se procede com o destino dos resíduos sólidos produzidos pelo HUSM foi feita a leitura do documento norteador desse processo dentro do hospital, o Plano de Gerenciamento de Serviços de Saúde – PGRSS – (2021/2022).

O PGRSS (2021/2022), define que os resíduos sólidos são classificados como os:

Resíduos provenientes da assistência hospitalar: plásticos, papéis, latas, papel toalha, restos de alimentos, sobras de flores, pilhas, baterias, bolsas de sangue, perfuro cortantes (agulhas, lâminas de bisturi, vidros quebrados, pontas de equipo, aparelho de barbear, mandril), explantes das clínicas da traumatologia e cardiologia, medicamentos vencidos, quimioterápicos, lâmpadas, hemocomponentes e hemoderivados, vacinas, meios de cultura, resíduos provenientes de pacientes em isolamento, materiais descartáveis com fluidos orgânicos, algodão, gaze, luvas, chumaços usados em procedimentos cirúrgicos, curativos, equipo, kits de aférese, kits de diálise, kits de hemodiálise, gesso, esparadrapo, ataduras, peças anatômicas (tecidos, membros e órgãos e produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas); Resíduos provenientes do setor de logística e infraestrutura hospitalar (RCC): entulhos, canos, ferro, madeiras, divisórias, kits de banheiros, latas de tinta, solventes e cola de madeira (EBSERH, 2021a, p. 36)

Com relação aos resíduos comuns e recicláveis, nos quais se enquadra o objeto de nossa pesquisa (as máscaras termoplásticas), assim como os demais resíduos recicláveis, o PGRSS (2021/2022) nos informa que:

São recolhidos três vezes na semana pela Associação de Seleccionadores de Materiais Recicláveis (ASMAR), porém, os resíduos com textos confidenciais (documentos), são recolhidos diretamente na sala do Setor de Hotelaria Hospitalar (STHH), com garantia de picotagem e descaracterização pela Associação. Sua disposição final é conforme a política desta associação (EBSERH, 2021b, p. 38).

A partir das orientações do PGRSS (2021/2022) percebe-se que a EBSEH busca organizar, dentro dos procedimentos da ANVISA, as determinações para que a Unidade de

Saúde dê destino aos Resíduos Sólidos Descartáveis. Entretanto, observa-se um vácuo no referido documento, pois o mesmo não aponta para um controle sobre os resíduos quando estes passam para a ASMAR.

Portanto, o Hospital Universitário De Santa Maria (HUSM), que se encontra localizado dentro da estrutura da Universidade Federal de Santa Maria, RS, utilizando-se da expertise da estrutura da comunidade acadêmica poderia fomentar processos de reciclagem dos resíduos sólidos e recicláveis produzidos pela própria instituição.

### **2.3.2 Ecologia industrial**

O conceito de Ecologia Industrial (EI), surge no embalo dos movimentos ambientalistas, que se tornaram intensos na década de 1970. Neste mesmo período, a partir do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, este conceito ganha expressividade se encorpando a ideia de relação simbiótica aplicada ao processo industrial. Tudo isso traduz-se na possibilidade do desenvolvimento de técnicas para produção industrial, diminuindo o impacto ambiental.

A EI parte da ideia de que o processo industrial se caracteriza como um ciclo, o qual incide o consumo energético e uso de matéria-prima, demonstrando que um processo industrial viabiliza a entrada de outro processo. Ainda está relacionada à ideia de ciclos de produção que visam a redução ou a eliminação da dependência das fontes não renováveis de energia, e por sua vez, não percebe a indústria como um sistema isolado em seu entorno. A mesma desafia a redirecionar os processos lineares, transformando-os em processos de produção que sejam cíclicos, de forma que se otimize a utilização de energia e de recursos naturais, eliminando o máximo possível de perdas desnecessárias.

O exemplo a seguir ilustra bem o que se relata:

Um dos casos pioneiros de aplicação dos princípios da ecologia industrial é o cluster de indústrias no município de Kalundborg, na Dinamarca. Ali, um conjunto de nove grandes empresas operam em um sistema no qual mais de 30 produtos são trocados entre elas. Por exemplo, o excesso de gás dos processos de uma refinaria de petróleo é tratado para remover enxofre que, por sua vez, é usado para fabricar ácido sulfúrico, utilizado por outras duas indústrias do cluster. Em outro caso, o resíduo da produção de uma indústria farmacêutica, em forma de biomassa, é utilizado como fertilizante pelas fazendas da região (UNICAMP, 2019, p. 36).

É por Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, em artigo intitulado “*Strategies for Manufacturing*” que a Ecologia Industrial surge como conceito no ano de 1989. A partir desta nova visão, os sistemas industriais começam a ser comparados aos sistemas biológicos naturais.

Posto isso, o contexto industrial ideal seria aquele que diminuísse ao máximo a geração de resíduos oriundos do processo de produção, uma vez que, estes seriam de alguma forma tratados e reintroduzidos no ciclo produtivo como matéria-prima para outras indústrias em seus próprios processos (CRUZ, 2015).

A Ecologia Industrial propõe a otimização do uso das energias e dos materiais. Neste sistema, há o tratamento e a otimização de cada produto gerado, estabelecendo a estes, valores econômicos, garantindo que poderia ser comercializado e usado por outros processos industriais, reduzindo a geração de resíduos e poluição, assim como a extração de matérias-primas, o que causaria, conseqüentemente, a redução dos impactos ao meio ambiente (CRUZ, 2015).

A atividade industrial, por si só, já imprime um significativo impacto ao meio ambiente. Isso porque se caracteriza como grande consumidora de energia e recursos naturais, além de se colocar como emissora de gases contribuindo para a gravidade do efeito estufa. A EI tem como característica fundamental apreciar a atividade do setor industrial e do meio ambiente em seu conjunto. Com isso busca minimizar os impactos negativos que a produção industrial causa, mantendo a produtividade e os lucros sem colocar em risco a geração de empregos e renda. Trata-se, portanto, de implementar tecnologias e soluções que sejam sustentáveis dentro do processo industrial. Isso vai além da obtenção da matéria-prima sendo concluída na expedição do produto final. (OLIVEIRA, 2019).

O objetivo da EI é prolongar a vida útil dos componentes formadores dos produtos industrializados, abordando a ideia de que a matéria-prima utilizada pelo produto fabricado se mantenha no ciclo de produção, diminuindo seu desperdício, evitando maior extração de matéria-prima e minimizando o rejeito industrial. Para implantar a EI, é fundamental observar três estágios, a análise do fluxo; modificar o deslocamento da matéria prima no sistema e por fim coordenar os tipos de fábricas visando assim melhor aproveitamento dos recursos. (OLIVEIRA, 2019)

Esses objetivos possuem relação com as propostas do desenvolvimento sustentável, à medida que visam diminuir os custos dos insumos e as despesas com desperdícios (dimensão econômica); diminuir a utilização dos recursos naturais e, conseqüentemente, a produção de resíduos/lixo (dimensão ambiental). Além de melhorar em todas as extensões sociais a qualidade de vida da população (dimensão social).

A sustentabilidade para o meio ambiente é essencial, pois a sociedade produz muito lixo e polui a fauna e a flora. Dito isso, é preciso desenvolver meios de reciclar e reutilizar esses lixos, pois os produtos que são descartados podem ser transformados em materiais. Dessa



forma, adentra-se o estudo sobre os polímeros, matérias com grande potencial para serem fonte de reaproveitamento, equilibrando o sistema ecológico.

## 2.4 POLÍMEROS

A pesquisa que está sendo desenvolvida neste estudo baseia-se na recuperação mecânica de polímero termoplástico de baixa temperatura biocompatível para confecção de placas com uso em contextos hospitalares. Desta forma, abordam-se conceitos básicos como aspectos históricos, sociais e definições dos comportamentos dinâmicos e mecânicos de materiais poliméricos.

A expressão polímero origina-se do grego *poli* (muito) e *mero* (repetição), que quer dizer algo que tem muitas partes repetidas. Os polímeros, diferentemente das substâncias químicas de baixa massa molecular, são produtos heterogêneos, pois podem possuir uma mistura de moléculas de diferentes massas moleculares, apresentando, por tanto, polimolecularidade (SILVA; SILVA, 2003). O grande desenvolvimento das pesquisas do processo de polimerização iniciou na década dos anos 1920, daquele momento em diante, o estudo e a compreensão relativa aos polímeros naturais e sintéticos foram desenvolvidos rapidamente e encaminhados para produção industrial.

Dominando as atividades atuais na indústria de bens e consumo, os polímeros em sua vasta diversidade estão presentes na maioria dos nossos dias. Tal evento deve-se às propriedades apresentadas pelos polímeros sintéticos, colocando-se como alternativa na substituição de outros materiais como o metal, o papel, a madeira e o marfim, demonstrando inúmeras vantagens na sua utilização.

Um polímero é uma macromolécula combinada através da ligação covalente de dezenas de milhares de unidades químicas simples chamadas de monômeros. Os monômeros que compõem um determinado polímero não são necessariamente unidades iguais, mas podem ser uma combinação de monômeros diferentes. O seu comportamento físico está ligado ao comprimento da macromolécula polimérica, o qual por sua vez incrementa sua massa molar, proporcionando grande variações em suas propriedades físicas. Os materiais poliméricos demonstram a característica do comportamento reológico<sup>5</sup> complexo em comparação a outros materiais. (SEMINÁRIO, USP, SD).

---

<sup>5</sup> Comportamento reológico (reologia) é o ramo da ciência que estuda as deformações e escoamentos da matéria.

### 2.4.1 Classificação dos Polímeros

Sobre as classificações dos polímeros podemos citar àqueles que se relacionam com a sua origem (naturais e sintéticos), a sua composição molecular (homopolímero e copolímero) e, em relação à sua plasticidade ou forças de atração intermoleculares (termofixos e termoplástico).

Os polímeros classificados como termofixos, possuem ligações elementares intensas entre as suas cadeias químicas. Por este motivo, suas ligações têm intensidade semelhante à união das ligações atribuídas às cadeias principais. Essas ligações possuem, como função, a união dos meros e, nas ligações secundárias, às funções de ligação das cadeias entre si. São exemplos: resina de fenol-formaldeído, epóxi e outros. (SEBATIÃO; CANEVAROLO, 2002).

Os polímeros termoplásticos possuem apenas ligações secundárias com baixo poder de união, o que resulta em menor atração entre as moléculas poliméricas. Esta característica garante a estes materiais maior plasticidade e a possibilidade de reutilizá-los utilizando apenas processos de transformação e moldagem a base de aumento da sua temperatura. Os polímeros utilizados neste estudo fazem parte deste grupo de materiais.

### 2.4.2 Composição ou estrutura química

Entende-se composição química como a expressão das quantidades relativas de cada um dos elementos químicos dos materiais.

**Homopolímero:** São os polímeros com a mesma unidade de repetição, constituídos por apenas um monômero. Materiais poliméricos gerados por reação de poliadição<sup>6</sup>.

**Copolímero:** os copolímeros caracterizam-se pelas suas unidades de repetição serem constituídas por dois ou mais monômeros.

### 2.4.3 Em relação às forças de atração molecular

As forças de atração molecular fracas ou fortes entre as unidades das cadeias poliméricas, bem como a sua estrutura reticulada ou ramificada entre as unidades diferenciam os termoplásticos dos termofixos.

---

<sup>6</sup> Poliadição consiste numa reação química pela qual se obtêm grandes polímeros (plásticos, fibras) a partir de moléculas pequenas insaturadas (monômeros)

**Termofixos:** São polímeros que podem ser moldados por ação de temperatura e pressão e solidificam ao serem resfriados durante o processo de cura. Esta família de polímeros não aceitam a recuperação mecânica dadas as características de suas estruturas reticuladas rígidas e elevadas forças de atração molecular. Ao serem reaquecidos há o rompimento da reticulação e a degradação do material. Exemplos: baquelite, resina epóxi e poliuretano (SEBATIÃO; CANEVAROLO, 2002).

**Termoplásticos:** são polímeros que podem ser moldados por ação de temperatura e pressão e solidificam ao serem resfriados. Neste grupo, a força de atração é relativamente baixa entre as unidades básicas e a estrutura é reticulada, motivo pelo qual, através do emprego da temperatura acabam sendo rompidas e restabelecidas durante o resfriamento, permitindo que possam ser reprocessados várias vezes desde que se obedçam a critérios de temperatura e pressão (RABELLO, 2023).

Assim, os polímeros termoplásticos se caracterizam por serem de fácil reaproveitamento justificando a necessidade de manejo do resíduo para menor efeito ao meio ambiente.

**Elastômeros termoplásticos:** são uma classe de materiais intermediários, em que apresentam como características elásticas dos elastômeros. Os termos mais usados para caracterizar esse material são TR= Borracha Termoplástica e TPE= Elastômero termoplástico. (SENAI, 2007).

## 2.5 PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS EM RELAÇÃO AOS MATERIAIS DE FABRICAÇÃO DE ÓRTESES

As áreas profissionais da saúde que agregam as funções de reabilitar pessoas com algum déficit muscular ou neurológico, utilizando a tecnologia assistiva, são a terapia ocupacional e a fisioterapia. Estes profissionais utilizam-se de diversos equipamentos no auxílio de suas funções, uma delas são as órteses de membros superiores (MMSS).

Conforme o Ministério da Saúde, há muitos anos o homem procura por acessórios para ajudá-lo após a perda de partes do corpo, desde 3.500 a.C. (BRASIL, 2019). De acordo com Lidemayer (2004), as pesquisas e estudos sobre as órteses não são recentes, sendo possível encontrar vários estudos antigos sobre o tema.

No setor hospitalar, nos cenários de cuidados da área de saúde, tornou-se mais evidente a utilização de materiais que sejam eficazes e baratos, agregado a suas características e facilitando a produção. Estas vantagens ajudaram a suprir uma demanda cada vez maior. O

polímero tem sido a matéria-prima básica na fabricação de órteses e vem ganhando destaque por suas qualidades, em substituição a outros materiais.

A escolha do material deve passar por uma visão das necessidades patológicas, também atendendo as condições financeiras do paciente, mas sempre suprindo suas especificidades para o processo de cura.

Os elementos de confecção de órteses possuem características intrínsecas, aos quais atendem as necessidades atributivas das mesmas. Os materiais ideais são aqueles que produzem um ganho real, ou seja, um menor impacto ambiental com menor prejuízo ao paciente, gerando maior eficácia ao processo agregado, conforto e menor valor de custo.

Podemos citar os materiais com maior recorrência na indicação para confecção destes equipamentos de tecnologia assistiva, os quais vêm demonstrando uma significativa evolução em sua aplicação. A madeira, o alumínio, o gesso e os polímeros termoplásticos de baixa temperatura (PCL), em sua trajetória apresentam-se como boas opções de matéria prima para atender as especificidades destes produtos, embora possamos utilizar uma larga variedade de outros materiais.

Para garantir maior eficácia no tratamento, as órteses precisam oferecer o máximo conforto possível ao paciente. Para tanto, algumas propriedades devem ser consideradas como a elevada resistência mecânica, o peso reduzido, e a facilidade de assepsia e a rádio transparência. Os custos do acessório de tratamento também devem ser considerados durante a prescrição do processo pelo profissional da saúde. Estas características estão intimamente ligadas ao material de confecção e às suas propriedades intrínsecas.

De forma geral, muitos materiais atendem, em alguma medida, às exigências do acessório de tratamento. Materiais como a madeira, o gesso, o alumínio e, mais recentemente, os polímeros, são muito utilizados por apresentarem as características necessárias para a confecção das órteses. A combinação das propriedades do material aplicado tem como consequência a maior ou menor eficiência do acessório que será utilizado. Com o tempo, o desenvolvimento de novos materiais proporcionou melhores opções no tratamento, suprimindo lacunas deixadas pelos materiais convencionais.

O maior ou menor conforto que será proporcionado pela órtese durante o tratamento está relacionado com a combinação das propriedades do material utilizado. Materiais que garantam melhor plasticidade permitem moldagens mais fáceis ao profissional da saúde e mais precisas ao paciente. Por este ponto de vista, o gesso apresenta-se como um excelente material, dado sua ótima plasticidade e facilidade de moldagem, contudo, apresenta baixa resistência mecânica, elevado peso e acabamento superficial grosseiro, dificultando a assepsia da órtese.

Por outro lado, materiais como madeira e o alumínio apresentam excelente resistência mecânica e acabamento superficial, contudo são difíceis de moldar, exigindo maior conhecimento do processo de fabricação pelo profissional da saúde e dificultando a precisão do acessório ao membro do paciente.

Uma das principais propriedades dos polímeros é a sua plasticidade. Desta forma, na ótica da moldagem das órteses, estes materiais apresentam-se como uma excelente alternativa. Os termoplásticos de baixa temperatura, neste processo, garantem excelente precisão da órtese ao membro tratado, facilidade de fabricação do acessório, baixo peso, excelente acabamento superficial e elevada resistência mecânica.

Tabela 1 - Propriedade dos materiais utilizados para as órteses – kg/cm<sup>3</sup>

<b>Material</b>	<b>Massa específica em kg/cm<sup>3</sup></b>
Madeira	900 kg/cm <sup>3</sup>
Gesso	1.500 kg/cm <sup>3</sup>
Alumínio	2.800kg/cm <sup>3</sup>
PCL	1.300 kg/cm <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Tabela 1, acima, apresenta-se a comparação entre as massas específicas dos materiais mais utilizados na fabricação de órteses. Pode-se verificar que o alumínio apresenta entre todos a maior massa específica (2.800 kg/m<sup>3</sup>) e a madeira a menor (900 kg/m<sup>3</sup>). O PCL apresenta massa específica (1.300 kg/m<sup>3</sup>) intermediária entre a madeira e o alumínio.

Órteses construídas em alumínio ou PCL são mais leves que órteses de madeira ou gesso. Este fato decorre porque o alumínio, mesmo possuindo maior massa específica, possui resistência mecânica superior à madeira ou ao gesso, com podemos observar na Tabela 2, garantindo menores espessuras na confecção do acessório.

Tabela 2 - Resistência à tração dos materiais – Mpa

<b>Material</b>	<b>Valor de resistência em MPa</b>
Madeira	20 a 60 MPa
Gesso	4,4 a 10,50 MPa
Alumínio	50 MPa a 300 MPa
Pcl	3 a 50 MPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Tabela 2, observa-se a comparação da resistência à tração dos materiais mais utilizados na fabricação de órteses, onde a madeira varia entre 20 MPa a 60 MPa, o gesso de 4,40 MPa a 10,50 MPa, o alumínio de 50 MPa a 300 MPa e o PCL de 3 MPa a 50 MPa. Podemos entender que a Resistência a Tração do material garantirá uma boa resistência mecânica a órtese.

A maior ou menor resistência mecânica da órtese dependerá da escolha do material a ser utilizado. As órteses fabricadas em alumínio podem apresentar maior resistência que aquelas fabricadas em madeira ou PCL, estas poderão ser mais resistentes que as órteses de gesso.

Como já relatado anteriormente, os materiais que agregam maior resistência transmitem esta característica a órtese garantindo uma maior durabilidade, fato este de grande importância, pois a órtese durante o tratamento pode sofrer a ação de tensões extremas pela atividade diária do paciente.

Desta forma, materiais mais resistentes diminuem a necessidade de manutenção ou reposição do acessório.

Figura 2 - Órtese em Gesso



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 3 - Órtese em PCL

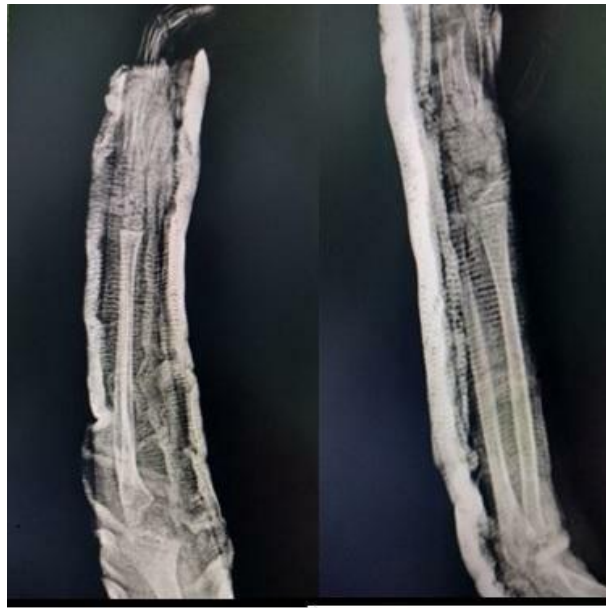


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Nas figuras 2 e 3, observam-se as órteses construídas em gesso e em PCL. Pode-se verificar por uma avaliação subjetiva que a fabricada em gesso (2), possui alta porosidade quando comparada com a fabricada em PCL (3).

A alta porosidade dificulta a assepsia, promove o acúmulo de sujidades e absorção de umidade, podendo ocasionar contaminação cruzada e odores desagradáveis. Órteses em PCL oferecem melhor acabamento superficial e menor porosidade, alta resistência e espessuras menores, justificando o seu uso em substituição aos outros materiais.

Figura 4 - Radiografia de Antebraço com órtese em gesso



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 5 - Radiografia de Antebraço com órtese em PCL.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).



As figuras 4 e 5 apresentam radiografias de antebraços com órteses de gesso (4) e PCL (5), em uma análise visual percebe-se o aumento de artefatos<sup>7</sup> radiológicos da figura 4 em relação à figura 5, demonstrando que uma órtese confeccionada em gesso detém menor rádio transparência em relação a uma confeccionada em PCL.

O excesso de artefatos, que podem ser verificados nas imagens da órtese de gesso, pode dificultar a obtenção de um laudo radiológico seguro. Em muitas situações é necessário a retirada da órtese para obtenção de uma imagem precisa. Pode-se perceber, desta forma, uma vantagem relativa das órteses de PCL em comparação com o gesso, pois os artefatos são praticamente imperceptíveis nas imagens quando se usa este material. Pelo descrito acima, em que tratamos de algumas das propriedades importantes para a fabricação e o uso das órteses, podemos concluir, a partir dos argumentos apresentados, que o PCL é uma boa opção de material para a confecção das órteses. Este polímero agrega vários atributos que valorizam seu uso e justificam o reaproveitamento do PCL de descartes das MTs para confecção de placas termoplásticas de baixa temperatura.

### **2.5.1 Máscara termoplástica**

Elas são acessórios feitos de material sintético e usados na mobilização de pacientes em tratamentos de cabeça e pescoço. As mesmas substituem os modelos antigos desconfortáveis aos pacientes. A moldagem da MT é realizada pelo tecnólogo ou técnico em radiologia especialista em radioterapia, segurando a mesma pela base e as puxando, fazendo um movimento de tração em direção a cabeça para fixá-la (BRASIL, 2010).

### **2.5.2 Placa termoplástica**

As placas termoplásticas são materiais em forma retangular de espessura variada, utilizadas preferencialmente na tecnologia assistiva (TA) na terapia ocupacional (TO) auxiliando na reabilitação dos pacientes de acordo com sua patologia. Ela é um material com a possibilidade de ser reciclado, assim a sustentabilidade é uma das principais vantagens das placas. Elas são leves e versáteis, garantindo a resistência e a facilidade no manuseio e limpeza e apresentação lisa ou perfurada, sendo adequada a diversas patologias, conforme a avaliação do profissional TO.

---

<sup>7</sup> Os artefatos são defeitos no processamento do filme que comprometem o resultado da imagem, podendo resultar em informações perdidas ou mascaradas.

### 3 METODOLOGIA

Para que se tenha uma melhor compreensão da pesquisa, a metodologia foi dividida em 5 etapas, quais sejam: 1: recolhimento do material termoplásticos, em que a coleta foi realizada nos agentes parceiros; 2: triagem e limpeza do material recolhido; 3: moagem do material limpo; 4: testes e padronização do material moído e limpo; e 5: moldagem da placa. Salientamos que, conforme o acordo, formalizado com os hospitais que possuem radioterapia, e em que o pesquisador firmou as parcerias para a realização da pesquisa, foi criada uma rede de recepção de máscaras termoplásticas de tratamento de patologias neoplásicas de cabeça e pescoço, aptas para descarte. Os referidos hospitais são o Hospital Universitário de Santa Maria – HUSM (onde a pesquisa foi realizada) e a Clínica de Radioterapia de Santa Maria, RS.

Nesse sentido, a seguir, exploraremos de forma mais detalhada cada uma das etapas desenvolvidas, demonstrando de que maneira foram aplicadas, bem como os resultados obtidos.

#### 3.1 ETAPA 1: RECOLHIMENTO DO MATERIAL TERMOPLÁSTICOS

Conforme o acordo realizado com hospitais que possuem radioterapia, nos quais o pesquisador firmou parcerias, foi criada uma rede de recepção de máscaras termoplásticas de tratamento de patologias neoplásicas de cabeça e pescoço, aptas para descarte. Conforme mostra a figura 6, a seguir. Essas máscaras seriam descartadas como lixo comum nos setores e encaminhada para empresas especializadas em recolhimento e destinação dos lixos hospitalares.

Os referidos hospitais são: Hospital Universitário de Santa Maria – HUSM (onde a pesquisa está sendo realizada) e a Clínica de Radioterapia Santa Maria.

Os responsáveis pela parceria, em cada uma das unidades citadas, analisam as máscaras ao final do tratamento que duram várias sessões. A avaliação consiste em verificar se a máscara mantém as características de memória térmica e plasticidade, pois devem manter a rigidez após moldadas.

Deve também possibilitar a marcação dos campos de exposição à radiação diretamente sobre a máscara, garantindo a exatidão durante a entrega de dose radioativa. Após alguns reaproveitamentos as máscaras perdem a memória e a plasticidade na base da estrutura, sendo que para cada tratamento deve-se realizar um processo de recuperação e nova moldagem. Ao perderem as propriedades que garantiriam a qualidade do tratamento, o responsável pela análise deve descartar o acessório para ser usado no tratamento em radioterapia.

Figura 6 - Recebimento de máscaras descartadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.2 ETAPA 2: TRIAGEM E LIMPEZA DO MATERIAL RECOLHIDO

A triagem das máscaras inicia logo após as mesmas serem descartadas. Garantida a inutilidade das máscaras para uso em radioterapia, as mesmas são encaminhadas para limpeza mecânica de sujidades e limpeza química para sepsia de patógenos contaminantes. A limpeza consiste em retirar a marcação e limpar a sujidade com água. Se tiver secreção contaminante, utiliza-se hipoclorito diluído 10% em água. Em seguida, as mesmas são reservadas em depósito apropriado até serem recolhidas.

Figura 7 - Triagem das máscaras descartáveis



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.3 ETAPA 3: MOAGEM DO MATERIAL LIMPO

Nesta etapa, as máscaras são encaminhadas para o laboratório de transformação de polímeros do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM, em que passam por separação dos diferentes polímeros, o termoplástico de baixa temperatura (PCL) e a moldura de policarbonato (PC).

A parte da moldura foi reservada para testes e outras aplicações. O PCL foi então encaminhado para trituração e moagem em moinho de facas da marca SEIBT 420LR com capacidade de moagem de 240 kg/h e potência de 20 cV (figura 8, abaixo). No moinho o material é separado em peneiras metálicas com furação com 12 mm de diâmetro.

O produto obtido da trituração com peneira de 12 mm, não se mostrou satisfatória, sendo assim foi trocada a peneira do moedor para furação de 10mm, para uniformizar a granulometria, tendo em vista uma melhor plastificação do material moído.

Figura 8 - Moinho de facas utilizado no processo de moagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.4 ETAPA 4: TESTES E PADRONIZAÇÃO DO MATERIAL MOÍDO

Nesta etapa, foram aplicados testes de Granulometria, avaliação de contaminantes no polímero e teste de índice de forma do grão, no Laboratório de Materiais de Construção Civil-

LMCC/UFSM. Vale ressaltar que, para a análise granulométrica, foi empregado um conjunto de peneiras com aberturas de 2,4 mm, 1,20 mm e 600  $\mu\text{m}$ .

### **3.4.1 Análise granulométrica**

O objetivo deste ensaio foi determinar o percentual de grãos retidos e acumulados nas peneiras de 12mm e 10 mm, a fim de definir a dimensão máxima característica e o índice de finura do agregado, oriundo da moagem do termoplástico de baixa temperatura. E, com isso, descobrir qual a granularidade é mais eficiente no processo de elaboração da placa termoplástica

De acordo com a metodologia proposta, o material recolhido, limpo e separado foi submetido ao processo de moagem. Dois ensaios foram realizados nas duas amostras do material moído, obtido com peneiras de 12mm a 10mm, os testes seguiram a Norma Brasileira (NBR NM 248 – a Análise Granulométrica). Nesse sentido, este foi um teste de extrema importância, pois demonstrou a melhor peneira do moinho, a ser usada para pesquisa.

### **3.4.2 Determinação do índice de forma**

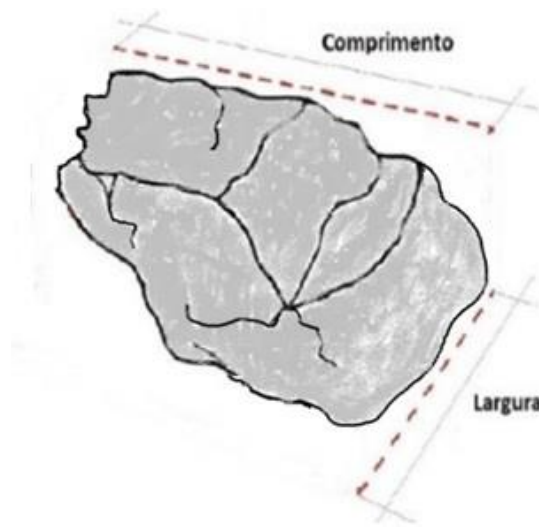
O índice de forma foi determinado pelo método descrito na NBR 7809 (ABNT, 2005). O objetivo foi determinar o padrão característico da forma do material moído para que seja analisado em conjunto com a granulometria.

Os critérios para análise das formas encontradas, foram classificadas em 2 categorias: forma *cúbica* e forma *alongada*.

Na forma cúbica, a partícula apresenta lados com semelhanças e pouca variação nas suas dimensões.

Na forma alongada: percebe-se que uma grande variação na dimensão do comprimento em relação às demais dimensões.

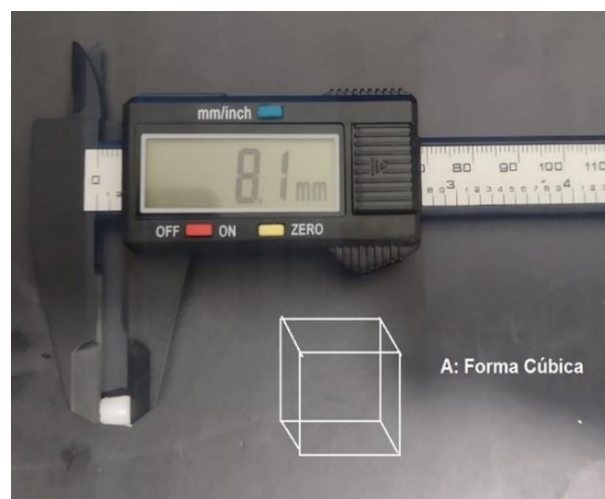
Figura 9 - Projeção da forma de melhor aproveitamento do grão



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foram analisadas amostras de material obtidos no moinho pelas peneiras de 12 mm e 10 mm para a avaliação do índice de forma. Foram amostrados 200 grãos aleatórios de material de cada grupo e realizada a medição com paquímetro fazendo-se a relação da maior medida designada comprimento com a medida perpendicular designada largura. Ao final determinou-se a média desta relação para a obtenção do índice de forma. As Figuras a seguir apresentam este processo.

Figura 10 - Projeção da forma do grão Cúbica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 11 - Projeção da forma do grão Alongada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 3.4.3 Avaliação de contaminantes do polímero

A análise de contaminantes no material moído foi realizado visualmente, de forma a avaliar a cor e o aspecto do moído obtido. O objetivo desta análise foi verificar as variações de cor e de impurezas que poderiam estar presentes pela contaminação com outros materiais durante os processos de armazenagem ou de moagem do material.

### 3.5 ETAPA 5: MOLDAGEM

Nesta etapa, foram transformados, a partir dos grãos obtidos pelo processo de moagem da máscara termoplástica, em placas recicladas para uso em contexto hospitalar, com tamanho 30 cm por 40 cm.

O processo de moldagem das placas termoplásticas foi realizado em uma prensa de aquecimento da marca RIMAQ (STAMPCOR PLUS) utilizada para estampas em tecido que atinge 300°C (figura 12), a mesma possui um controlador eletrônico de temperatura analógico programável que realiza o controle do aquecimento e mensuração da temperatura do equipamento durante o processo e o controle da pressão realizado por uma alavanca mecânica, que permite a regulagem da pressão a ser aplicada sobre o material demonstrado na figura 13.

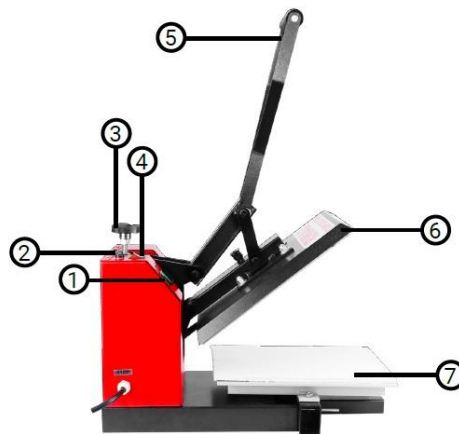
Figura 12 - Prensa RIMAQ



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 13 - Dispositivos de controles da prensa RIMAQ

#### DADOS TÉCNICOS



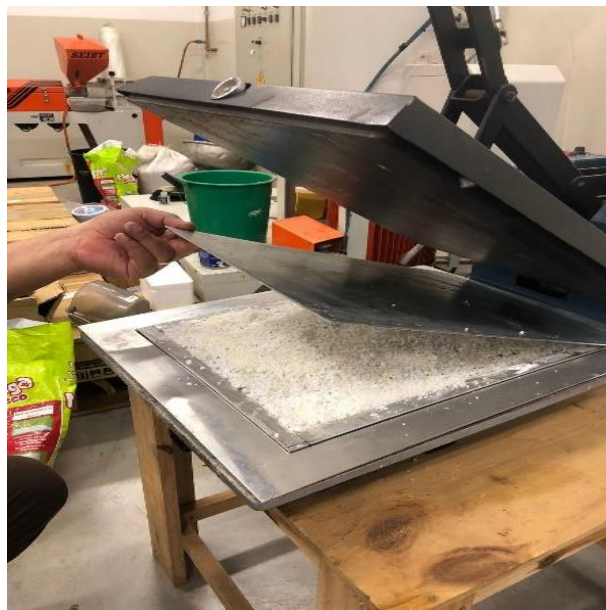
- |                         |                        |                                    |
|-------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1. Painel digital       | 4. Botão Liga/Desliga  | 6. Resistência térmica plana 25x35 |
| 2. Fusível 1A           | 5. Alavanca de pressão | 7. Base plana inferior             |
| 3. Regulador de Pressão |                        |                                    |

Fonte: Manual de instruções STAMCOR plus e júnior (2023).



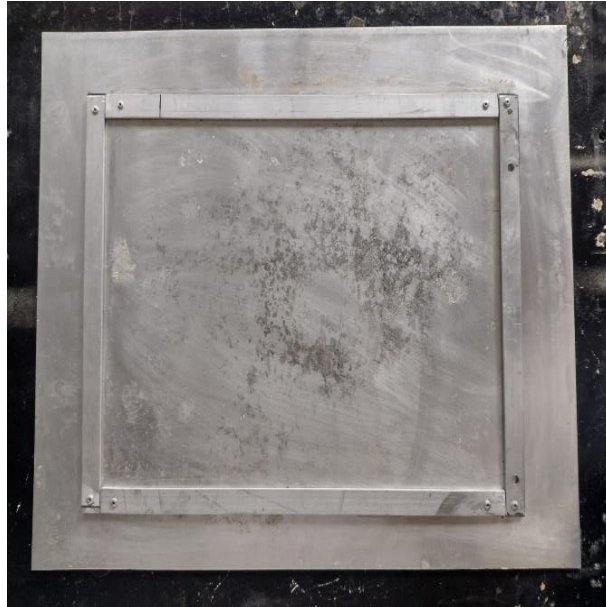
A adaptação do equipamento deverá constar da substituição do revestimento das faces da prensa por duas chapas de alumínio para melhor dissipação do calor (figura 14). Um molde retangular de alumínio deverá ser construído para agregar os materiais moídos de termoplásticos e dar forma a placa termoplástica na plastificação. Teoricamente estudos preliminares mostram que houve melhora na escolha do alumínio, pois pode-se diminuir o tempo de plastificação e melhorar o desempenho térmico do molde.

Figura 14 - Placas metálicas adaptadas na prensa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 15 - Molde metálico (alumínio) para confecção das placas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados ocorrerá em três partes: na primeira, serão apresentados os resultados obtidos para o recolhimento do material, na segunda, serão apresentados os resultados obtidos no processamento do material a ser reaproveitado; na terceira e última parte, apresentaremos os resultados que se referem à fabricação da placa termoplástica.

### 4.1 PROCESSO DE RECOLHIMENTO DO MATERIAL

Após a identificação do material a ser utilizado na pesquisa, foram selecionadas duas instituições parceiras para o recolhimento, sendo elas localizadas na cidade de Santa Maria. Essas instituições são reconhecidas como centros de tratamento de câncer e possuem ampla experiência no setor de radioterapia.

As instituições que aceitaram participar do projeto de pesquisa incluem o Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) e a Clínica Radioterapia de Santa Maria.

O Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM), faz parte da rede EBSEERH e está localizado em Santa Maria, RS, possui um setor de radioterapia que hoje realiza em média 500 atendimentos por ano. Estima-se que aproximadamente 150 desses atendimentos utilizem máscaras termoplásticas para a fixação de cabeça e pescoço por ano, obtendo em média 12,5 máscaras termoplásticas por mês.

Quanto à Clínica Radioterapia de Santa Maria Ltda, situada na cidade de Santa Maria, RS, iniciou suas atividades em 2009 utilizando tratamentos em 3d CRT e IMRT<sup>8</sup>. Uma estimativa de 2016 até 2022 é que tenham sido realizados pelo menos 168 tratamentos com uso de MTs, gerando uma média de 24 pacientes por ano e 2 por mês.

Na Tabela 3, apresentamos o resumo do número de atendimentos, a estimativa do número de MT utilizadas e as quantidades que foram recolhidas para a pesquisa.

---

<sup>8</sup> **3D CRT** é uma modalidade de Radioterapia Tridimensional Conformacional (Conformal Radiation Therapy), tratamento baseada em informações anatômicas tridimensionais.

**IMRT** é uma modalidade de Radioterapia Conformacional (Radioterapia de Intensidade Modulada), tratamento altamente preciso que permite administrar altas doses de radiação aos volumes-alvos.

Tabela 3 - Número de atendimentos, MT utilizadas e quantidades recolhidas, por instituição participante.

<b>Instituição</b>	<b>Atendimentos/ano</b>	<b>Máscaras utilizadas em 2 anos</b>	<b>% recolhido</b>	<b>Kg</b>
HUSM	500	300	100%	30
Clínica de Radiologia	360	48	100%	4,8
<b>Total</b>	<b>860 por ano</b>	<b>348 em 2 anos</b>	<b>100%</b>	<b>34,8KG</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Pode-se observar que no total foram recolhidos 34,8 kg de material para a pesquisa. Destes, o maior percentual (30 kg) foi o disponibilizado pelo HUSM, e cujo recolhimento atingiu os 100% das máscaras utilizadas. Observa-se que o HUSM e a Clínica Radioterapia SM têm uma diferença razoável de atendimentos de pacientes anuais, e que o uso de máscaras utilizadas no HUSM foi maior, sendo recolhidas 100% de seus rejeitos, haja vista a facilidade do pesquisador em recolher tal material pois são localizadas na mesma cidade. Contudo, a clínica de radiologia atende bem menos pacientes, pois é uma instituição com fins lucrativos e o HUSM um hospital público.

Após acordado o recolhimento com as Instituições parceiras e os responsáveis pelo descarte em cada uma delas, o processo de coleta e transporte para a UFSM resultou do deslocamento do próprio pesquisador àquelas instituições. Na sequência, todo o material recolhido foi reunido no Laboratório de Transformação de Polímeros do CTISM. Verificou-se então que para cada 6 kg de material recolhido foram necessárias aproximadamente 48 horas para a limpeza e a separação.

Na figura 16, abaixo, pode-se observar parte do material recolhido, limpo e separado, acondicionado para o processo de moagem.

Ao final do processo de recolhimento, foram reunidas um total de 348 máscaras termoplásticas (MTs). Destas realizou-se a separação e a limpeza de todas as máscaras totalizando 34,8 kg para o processo de moagem.

Figura 16 - Recolhimento e separação das máscaras



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2 PROCESSAMENTO DAS MÁSCARAS

De acordo com a metodologia proposta, o material recolhido, limpo e separado foi submetido ao processo de moagem.

O processo de transformação de materiais é uma parte importante do estudo porque afeta diretamente a qualidade e o desempenho do produto final. A fim de avaliar a eficácia de cada método de processamento do polímero de baixa temperatura, realizamos neste estudo uma série de testes preliminares. Os métodos de aquecimento a seco sem pressão, aquecimento a úmido sem pressão, aquecimento a úmido com pressão e corte com tesoura aplicada sem molde de alumínio e com molde de alumínio foram testados.

Para realizar os testes, usamos uma amostra comum do material em questão, que foi submetida a cada uma das técnicas de processamento mencionadas anteriormente. Em seguida, observamos e registramos as características produzidas por cada processo. Essas características incluem uniformidade da plastificação, formação de solução de continuidade superficial, capacidade de moldagem e obtenção da espessura e forma desejadas.

Material sem Pressão Aquecido a Seco: Este método resultou em uma plastificação inconsistente. A falta de pressão prejudicou a qualidade do produto final, apesar do processo de aquecimento. A Figura 17 a seguir apresenta esta etapa.

Figura 17 - Material sem Pressão Aquecido a Seco



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Material sem Pressão com Aquecimento a Úmido: A plastificação foi obtida neste método, porém, a falta de moldagem adequada resultou em uma forma indesejada. A umidade facilitou a plastificação, mas a ausência de pressão e molde adequados limitou a capacidade de moldar o material conforme desejado. A Figura 18 a seguir apresenta este processo.

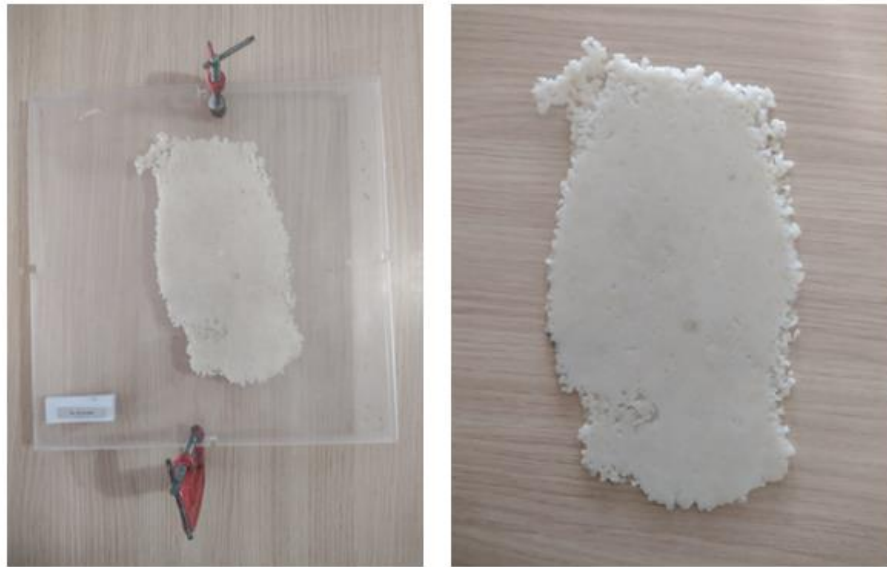
Figura 18 - Material sem Pressão com Aquecimento a Úmido



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Material Moído e com pressão no aquecimento a úmido (sem molde): Apesar de obtermos a plastificação e a espessura desejada, a falta de um molde adequado resultou na ausência de forma definida. Isso sugere que, embora a pressão seja crucial para a plastificação uniforme, a presença de um molde é igualmente importante para a formação da forma desejada, a Figura 19 apresenta tal processo exposto.

Figura 19 - Material Moído e com pressão no aquecimento a úmido (sem molde)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Material Cortado com Tesoura: Observou-se que este método não resultou em uma plastificação uniforme, e foram evidentes soluções de continuidade superficial, o que indica uma limitação na eficácia deste método para o processamento do material em questão.

Figura 20 - Material Cortado com Tesoura



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Material Moido e com Pressão no Aquecimento a seco (com molde de alumínio): Este método foi o mais eficaz em termos de plastificação uniforme, formação de espessura e obtenção de forma desejada. A utilização do molde de alumínio permitiu uma moldagem precisa do material, resultando em um produto final satisfatório em termos de qualidade e forma.



Figura 21 - Material Moido e com Pressão no Aquecimento a seco (com molde de alumínio)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base nos resultados, chegamos à conclusão de que o aquecimento a seco com pressão usando um molde de alumínio é o método mais eficaz para processar o material em questão. A plastificação uniforme, formação de espessura adequada e obtenção da forma desejada foram alcançadas com este método, garantindo a qualidade do produto final. No entanto, investigações adicionais são necessárias para melhorar ainda mais o processo e obter uma melhor compreensão das variáveis envolvidas no processamento do material. A Figura 22 sumariza o demonstrativo das etapas.

Figura 22 - Demonstrativo das etapas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para realizar o estudo, dois ensaios para duas amostras do material granulado obtido deste processo foram realizados de acordo com a NBR NM 248 – para a Análise Granulométrica. O objetivo foi determinar o percentual de grãos retidos e acumulados nas peneiras da série normal e intermediária, a fim de definir a dimensão máxima característica, o índice de finura do agregado e o índice de forma. Foram ainda analisados aspectos quantitativos como a cor e a contaminação do material obtido.

#### **4.2.1 Análise granulométrica**

Para a análise granulométrica foi empregado um conjunto de peneiras com aberturas de 2,4 mm, 1,20 mm e 600  $\mu\text{m}$  de acordo com a figura 23, abaixo. Apresentamos os resultados obtidos da massa retida nas peneiras do teste de granulometria. Observa-se que os resultados incluem as massas das peneiras e que foram descontadas nos resultados finais, os quais estão apresentados nas Tabela 4 e 5.

Figura 23 - Material retido de acordo com NBR NM 248 para análise de granulometria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

\*\*\*Aberturas de 2,4 mm, 1,2 mm e 600  $\mu$ m, respectivamente.

Tabela 4 - Resultados da Análise Granulométrica do Ensaio 01 de acordo com NBR NM 248 para as amostras N°1 e N°2

<b>Ensaio 21-07-2023</b>			
<b>Amostra 1 (12)</b>			
<b>Peneira</b>	<b>Massa Retida (Kg)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>
<b>2,4 mm</b>	201,63	80,65	80,72
<b>1,2 mm</b>	47,68	19,07	99,72
<b>600 <math>\mu</math>m</b>	0,55	0,22	99,94
<b>Fundo</b>	0,09	0,04	100
<b>Ensaio 21-07-2023</b>			
<b>Amostra 2 (10)</b>			
<b>Peneira</b>	<b>Massa Retida (Kg)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>
<b>2,4 mm</b>	114,26	45,7	45,7
<b>1,2 mm</b>	121,81	48,72	94,43
<b>600 <math>\mu</math>m</b>	12,27	4,91	99,34
<b>Fundo</b>	1,29	0,52	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 5 - Resultados da Análise Granulométrica do Ensaio 02 de acordo com NBR NM 248 para as amostras N° 1 e N°2.

<b>Ensaio 25-07-2023</b>			
<b>Amostra 1 (12)</b>			
Peneira	Massa Retida (Kg)	% Retida	% Retida Acumulada
2,4 mm	203,37	81,35	81,35
1,2 mm	45,5	18,2	99,55
600 µm	1,37	0,54	100
Fundo	0,06	0,02	100
<b>Ensaio 25-07-2023</b>			
<b>Amostra 2 (10)</b>			
Peneira	Massa Retida (Kg)	% Retida	% Retida Acumulada
2,4 mm	100,96	40,38	40,38
1,2 mm	130,97	52,39	92,77
600 µm	15,6	6,24	99,01
Fundo	2,34	0,94	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Nesse sentido, calculando as porcentagens médias, retida e acumulada, em cada peneira do moinho, com aproximação de 1%, determina-se a dimensão máxima característica ( $D_{m\acute{a}x}$ ), em mm, como sendo a abertura da malha da peneira, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada, igual ou imediatamente inferior a 5%.

Ao passo que, para determinar o módulo de finura (MF), com aproximação de 0,01, que é a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, divide-se por 100. O valor chegado pode ser tanto maior quanto menor que o tamanho do agregado.

Tabela 6 – Determinação do Módulo de Finura (MF)

ensaio 01		ensaio 02	
amostra 1	amostra 2	amostra 1	amostra 2
80,72	45,7	81,35	40,38
99,72	94,43	99,55	92,77
99,94	99,34	100	99,01
<b>2,8</b>	<b>2,39</b>	<b>2,81</b>	<b>2,32</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

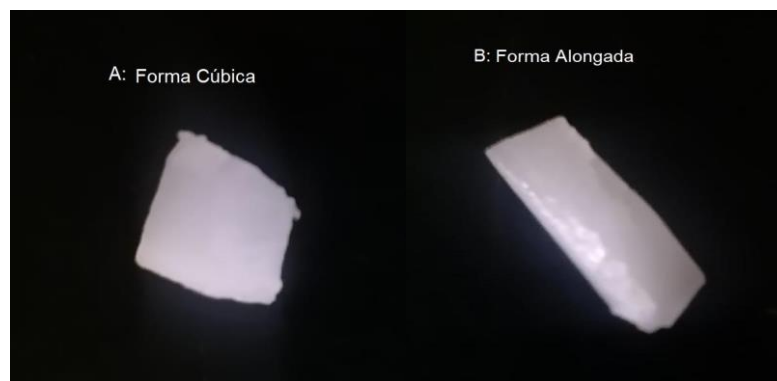
Em negrito, temos o índice de finura. Dessa forma, a amostra 1 faz parte da peneira de 12 mm, e a amostra 2 da peneira de 10 mm. Assim, confirma-se que o tamanho do agregado mudou, mesmo com a mudança da peneira. Logo, o índice é menor para as amostras 2 (10mm) e maior para as amostras 1 (12 mm).

Percebe-se, também, que os percentuais se equilibram entre as peneiras 2,4 e 1,2 na segunda amostra, enquanto na primeira ele é bem maior na peneira de 2,4 mm, indicando, nesta situação, que o grão é maior.

#### 4.2.2 Índice de forma

Para a determinação do Índice de Forma, utilizou-se uma amostra de 200 grãos, e para cada um deles, realizou-se a medição do comprimento e da espessura. O índice de forma indica a relação entre as dimensões do grão do agregado, indicando formas mais cúbicas, como se observa na Figura 24 (A) para índices mais próximos a 1, ou formas mais alongadas, como observado na Figura 24 (B) para índices se afastando da unidade.

Figura 24 - Formas características



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Tabela 7, apresentamos os valores médios dos Índices de Forma, das amostras obtidas no moinho com peneiras de 10 mm e 12 mm, além do desvio padrão e os limites dos intervalos de  $\pm 1$  DP. Verifica-se, então, com estas informações, que a média do IF do agregado da peneira de 10 mm é menor, bem como, sua medida de dispersão, obtida pela determinação do Desvio Padrão. Esta constatação demonstra que o agregado obtido nesta peneira é menos alongado e mais uniforme, em relação ao agregado, obtido com peneiras de 12 mm.

Tabela 7 - Média e medidas de dispersão do Módulo de Finura

Abertura da Peneira do Moinho	Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Média + DP (mm)	Média – DP (mm)	Intervalo (mm)
10 mm	1,78	0,45	1,33	2,23	0,89
12 mm	2,11	0,68	1,43	2,79	1,36

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim, podemos observar que os moldados produzidos a partir de agregados obtidos com a peneira de 10 mm, apresentaram melhora na sua qualidade da moldagem e em seu aspecto superficial. Portanto, inferimos que este fato decorreu devido a este agregado ser mais miúdo, com dimensões entre largura e espessura mais semelhantes (menos alongados) e ter uma maior uniformidade do grão, o que fora demonstrado pelo Módulo de Finura, pela média do Índice de Forma da amostra e pelo Desvio Padrão, respectivamente.

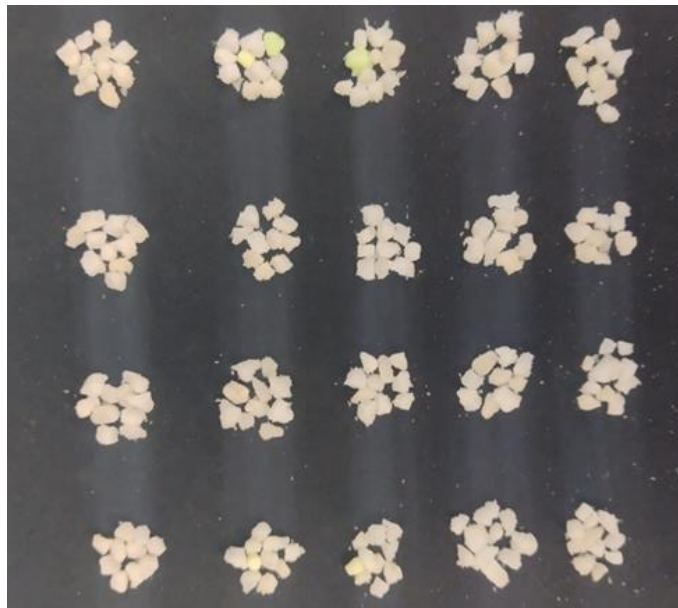
Com isso, entendemos que o agregado mais miúdo e mais homogêneo garantiu uma melhor opção na plastificação do polímero termoplástico, na confecção das placas, além de fornecer perspectivas valiosas para futuras investigações

Figura 25 - Amostra de 200 grãos de obtidos pela peneira com furação de 12 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 26 - Amostra de 200 grãos de obtidos pela peneira com furação de 10 mm



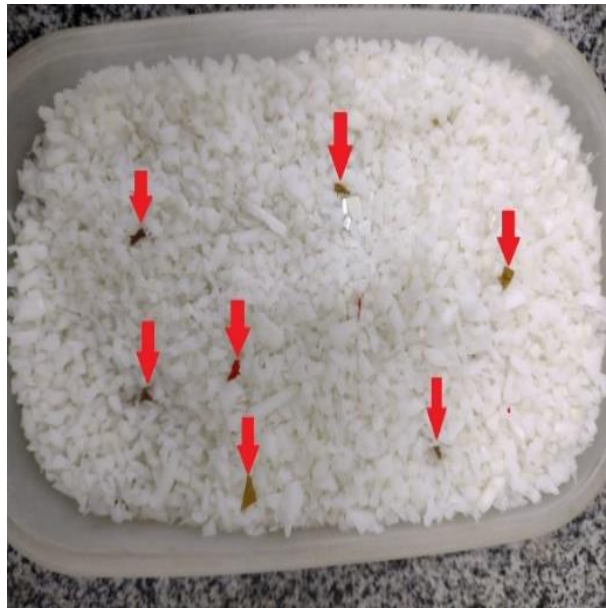
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2.3 Avaliação de contaminação do material moído

Em relação à cor pode-se verificar que o material moído apresentou as mesmas cores referentes ao polímero de origem das MT's. Desta forma, como as máscaras utilizadas eram em geral da cor branca e de aspecto leitoso, o material moído apresentou o mesmo aspecto.

Contudo, devido ao processo de moagem não ter sido realizado em um moinho exclusivo para este fim, observou-se o aparecimento de grãos de outros materiais de origem de outros processos de moagem no mesmo equipamento. Comprovou-se por este fato que a limpeza realizada no moinho por meio de aspiração antes do processo não foi tão eficiente quanto se esperava. Na figura 27, pode-se verificar as questões de aspecto do material obtido quanto a sua cor e contaminação devido ao processo de moagem.

Figura 27 - Contaminação no material moído



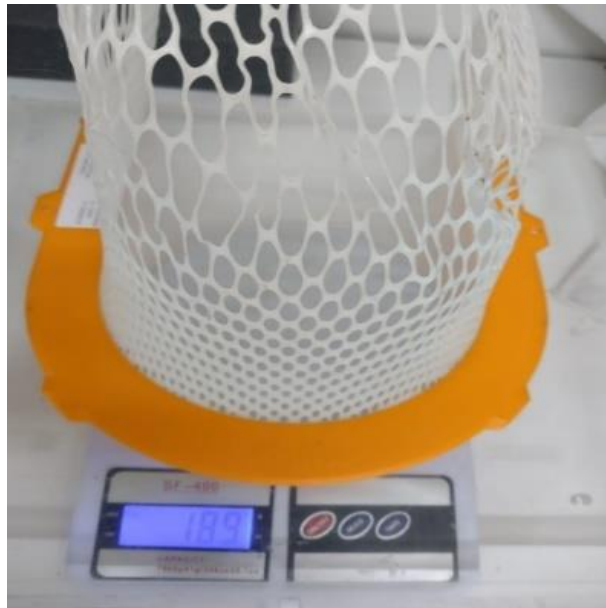
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.3 FABRICAÇÃO DA PLACA

Uma MT, após seu descarte no setor de radioterapia possui, em média, 190 gramas de termoplástico de baixa temperatura (PCL) e a moldura de policarbonato (PC), como podemos observar na figura 28, a seguir.



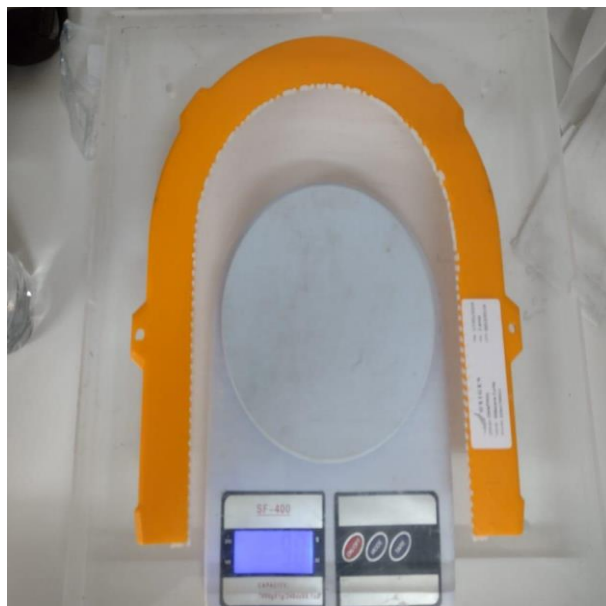
Figura 28 - Massa da máscara completa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Assim, tão logo após a separação dos materiais, obteve-se 80 gramas de policarbonato (PC), oriundo da base, a qual será destinada para efeitos recicláveis. Por sua vez, em relação ao material aproveitado na pesquisa em si, obteve-se 100 gramas, em média, por MT, apresentando, na imagem abaixo, a massa da moldura que foi encontrada:

Figura 29 - Massa da moldura da MT



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Verificou-se que a massa de um MT de baixa temperatura pode variar, significativamente, dependendo do tipo de polímero que seja utilizado e para qual finalidade propriamente dita, variando desde o formato da peça até mesmo quanto à densidade do material. Nesse sentido, na figura 30 é possível visualizar de que forma a massa do MT de baixa temperatura foi utilizada.

Figura 30 - Massa do material termoplástico de baixa temperatura



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 31 - Material moído



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Desse modo, para obtermos uma placa de polímero termoplástico de baixa temperatura biocompatível com o uso em contexto hospitalar, de modo uniforme, foram espalhadas 500gramas de polímero de baixa temperatura (figura 32), oriundos do processo de moagem das MT's, em um molde de alumínio.

Figura 32 - Material moído e selecionado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Depois, foi aplicada a pressão máxima da prensa, em que o limitador desse processo é a borda do molde, por um período de 30 minutos, em uma temperatura a 70 graus.

Podemos ver o processo de distribuição do material moído no molde utilizado para obter a plastificação do polímero de baixa temperatura na figura 33.

Figura 33 - Distribuição do material moído no molde



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No decorrer deste processo, as placas obtidas possuíam uma espessura de 3 mm, entretanto, de acordo com os moldes, pode-se produzir placas com diferentes tamanhos de espessura. No processo final, conseguimos, com a utilização de cinco máscaras, a produção de uma placa de tamanho 40x30 cm.

O resultado final, em que chegamos na obtenção da placa, perpassando pelo objetivo principal que o presente estudo se propôs, pode ser visualizado na figura abaixo.

Figura 34 - Placa finalizada



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Todo este processo foi realizado pelo pesquisador responsável da presente pesquisa, sendo ele a única mão de obra envolvida na execução e nos devidos testes. Para cada placa, em média, foram utilizadas cinco máscaras na etapa de moagem. Durante o processo, constatou-se que a uniformidade de um grão de 10 mm proporcionou a melhor relação custo-benefício na obtenção de uma placa com massa aproximado de 500 gramas, com medidas de 40x30 cm, alcançando, assim, o resultado esperado pelo projeto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo identificou materiais termoplásticos de baixa temperatura, como a policaprolactana (PCL) e o poliuretano (PU) provenientes das máscaras termoplásticas utilizadas em setores de radioterapia, com potencial para reaproveitamento. A escolha de PCL e PU baseou-se em suas propriedades que atenderam às necessidades da pesquisa. Suas características de baixa temperatura de processamento, biocompatibilidade, flexibilidade, reciclabilidade, estabilidade térmica e propriedades mecânicas, tornaram esses materiais ideais para serem reaproveitados para confecção de placas termoplásticas de baixa temperatura. Essa descoberta introduziu uma abordagem inovadora para lidar com esses materiais, transformando seus resíduos em uma fonte valiosa de material reciclável.

A aplicação de um processo de recuperação mecânica do polímero de baixa temperatura mostrou-se viável e eficaz na produção de placas de polímero termoplástico. A viabilidade desta aplicação para a produção destas placas deve-se à combinação da simplicidade do processo e a compatibilidade e adaptabilidade de equipamentos existentes, garantindo razoável controle dos parâmetros do processo e a preservação das propriedades mecânicas e químicas do material. Desta forma o processo utilizado pode contribuir para a redução do descarte e para a promoção da sustentabilidade ambiental

O processo desenvolvido e testado obteve sucesso em relação ao objetivo da pesquisa, pois permitiu a obtenção de placas de PCL de boa qualidade à partir da recuperação mecânica da matéria prima das máscaras termoplásticas. A simplicidade do processo permite que a aplicação desta metodologia possa ser reproduzida com facilidade em diversos outros cenários, como hospitais e centros de tratamento. O sucesso do trabalho é evidenciado pela comprovação de que é possível transformar resíduos de máscaras termoplásticas em um recurso valioso, demonstrando um avanço significativo na gestão de resíduos sólidos no setor de saúde.

A complexidade de todo trabalho experimental sempre proporciona novas questões e desafios durante o seu desenvolvimento. Variações das propriedades mecânicas e térmicas do produto obtido, contaminação do material durante o processamento, gestão do processo de coleta do resíduo, avaliação das órteses geradas a partir da placa produzida e análises aprofundadas dos benefícios ambientais e econômicos do processo, são temas que poderão ser tratados com mais inquietude em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2023** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. 2017.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2015. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2015/>. Acesso em: 02 jan. 2023.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. 2023**

ABNT. **Agregados:** Determinação da composição granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.

AL-KHATIB, I. A.; ELEYAN, D.; GARFIELD, J. A system dynamics approach for hospital waste management in a city in a developing country: the case of Nablus, Palestine. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 9, p. 503, 3 set. 2016.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0306\\_07\\_12\\_2004.pdf/95eac678-d441-4033-a5ab-f0276d56aaa6](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0306_07_12_2004.pdf/95eac678-d441-4033-a5ab-f0276d56aaa6). Acesso em: 02 jan. 2023.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada nº 222, de 28 de março de 2018**, 2018. Disponível em: [http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33852/271855/RDC+222+de+Mar%C3%A7o+de+2018+COMENTADA/edd85795-17a2-4e1e-99ac-df6bad1e00ce?version=1.0#:~:text=222%2C%20DE%2028%20DE%20MAR%C3%87O,do%20Meio%20Ambiente%20\(CONAMA\)](http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33852/271855/RDC+222+de+Mar%C3%A7o+de+2018+COMENTADA/edd85795-17a2-4e1e-99ac-df6bad1e00ce?version=1.0#:~:text=222%2C%20DE%2028%20DE%20MAR%C3%87O,do%20Meio%20Ambiente%20(CONAMA)). Acesso em: 02 jan. 2023.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Diretrizes para a Resíduos Sólidos de Saúde**, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-470-de-23-de-fevereiro-de-2021-30492311>. Acesso em: 02 jan. 2023.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento sustentável:** das origens à Agenda 2030. Petrópolis: Editora Vozes, 2020.

BARROS, RT de V. et al. Elementos de gestão de resíduos sólidos. **Belo Horizonte: Tessitura**, v. 1, 2012.

BOROWY, I. Resíduo hospitalar: o lado sombrio da assistência médica. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 27, p. 231-251, 2020.

BOSQUILIA, S. G. C. C. **Cadeias de gerenciamento de resíduos plásticos domiciliares provenientes da coleta seletiva nos municípios de Piracicaba/SP e Dois Vizinhos/PR**. 2021. 307 f. Tese (Doutorado em Ciências: Ecologia Aplicada)-Universidade de São Paulo, SP, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n 358, 29 de abril de 2005**, 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5046>. Acesso em: 02 jan. 2023.

BRASIL. Política Nacional dos resíduos sólidos. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 06 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da saúde. **Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção**. Brasília: ministério da saúde, 2019. 108 p. Disponível em: [https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia\\_manutencao\\_orteses\\_proteses\\_auxiliares\\_locomocao.pdf](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia_manutencao_orteses_proteses_auxiliares_locomocao.pdf). Acesso em: 02 jan. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 358, 29 de abril de 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5046>.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. **Artiliber editora**, São Paulo, v. 24, 2002.

COSTA, Wesley Moreira. A importância do gerenciamento dos resíduos hospitalares e seus aspectos positivos para o meio ambiente. Hygeia: **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 5, n. 9, 2009.

CRUZ, F. N. **Ecosistemas industriais: análise bibliométrica da publicação científica mundial e brasileira sobre o tema**. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Aplicadas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

CUSSIOL, N. A. DE M. Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. p. 1–88, 2020

EBSERH. **Manual de Procedimentos da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares**. EBSERH, 2021a.

EBSERH. **Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde - PGRSS**. EBSERH, 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-centro-oeste/hu-ufgd/aceso-a-informacao/boletim-de-servico/2021/anexo-resolucao-23-plano-de-gerenciamento-de-residuos-de-servicos-de-saude.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2023.

FARZADKIA, M. *et al.* Management of hospital waste: a case study in Tehran, Iran. **Health Scope**, v. 7, n. 2, 2018.

FERREIRA, João A. et al. A multi-criteria decision support system for a routing problem in waste collection. In: Evolutionary Multi-Criterion Optimization: 8th International Conference, EMO 2015, Guimarães, Portugal, March 29--April 1, 2015. Proceedings, Part II 8. Springer International Publishing, 2015. p. 388-402.

FORTUNA, Ana Luísa Lobo. Impactos ambientais dos plásticos: biopolímeros como alternativa para a redução do acúmulo de embalagens flexíveis de polipropileno no meio ambiente. 2020.



FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for manufacturing. **Scientific American**, v. 261, n. 3, p. 144-153, 1989.

GONÇALVES, Marilson Alves; TANAKA, Ana Karolina; AMEDOMAR, André. A destinação final dos resíduos sólidos urbanos: alternativas para a cidade de São Paulo através de casos de sucesso. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, v. 5, n. 1, p. 96-129, 2013

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. O que é um resíduo: uma revisão global do gerenciamento de resíduos sólidos. **Documentos de Conhecimento da**, 2012.

HRENOVIC, J. *et al.* Untreated wastewater as a source of carbapenem-resistant bacteria to the riverine ecosystem. **Water SA**, v. 45, n. 1, p. 55–62, 2019.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em jun 2024.

IRIANTI, S. Hospital waste management in Queensland, Australia, 2010: a case study for sustainable hospital waste management in Indonesia. **Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan**, v. 26, n. 2, p. 109-118, 2016.

JACOBI, P. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade**. Cad. Pesqui, 2003.

KWIKIRIZA, S. *et al.* A whole systems approach to hospital waste management in rural Uganda. **Frontiers in Public Health**, v. 7, n. 6, p. 1–9, 2019.

LINDEMAYER, C. **Estudo e avaliação de termoplásticos utilizados na confecção de órteses**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica)-Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, 2004.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. DE P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24–51, jan. 2018.

MEDEIROS, F. C.; FONTGALLAND, I. L. Gerenciamento de resíduos hospitalares a partir: uma revisão da literatura: Hospital waste management from: a review of the literature. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 4, p. 4199-4209, 2022.

MELO, D. O. S. **Gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares de São Carlos-SP: análise do potencial de aproveitamento energético de biogás oriundo de aterro sanitário e biometanizadores**. 2022. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento)-Universidade de São Paulo, SP, 2022.

MENDOZA, Ronaldo Rosales. Resíduos sólidos urbanos, catadores e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Revista Fidélitas** Vol, v. 5, n. 1, p. 14, 2020.

MEU RESÍDUO. **A classificação de resíduos sólidos segundo a ABNT NBR 1004/2004.** Disponível em: <https://meuresiduo.com/categoria-1/a-classificacao-de-residuos-solidos-segundo-a-abnt-nbr-1004-2004/>. Acesso em: 02 jan. 2023.

NITIKA, N. *et al.* A country level situational analysis of biomedical waste management: evidence from DLHS-4. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, vol. 11(12), p. 1-4, 2017.

OLIVEIRA, Nathália Roberta de. Resíduos hospitalares. **Trabalho de Conclusão de Curso.** Universidade do Estado de São Paulo. 2022.

OLIVEIRA, K. S. P.; DIAS, A. C. C. S.; SILVA, J. M. L. Viabilidade de órtese eletrônica de baixo custo via impressora 3d a partir de compósito polimérico reforçado por fibras naturais: uma revisão da literatura no campo da fisioterapia. **Ciência Atual–Revista Científica Multidisciplinar do Centro Universitário São José**, v. 19, n. 2, 2023.

OLIVEIRA, V. E. Avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos de um hospital em um município de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 15, n. 7, p. 59-70, 2020.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Os Resíduos Hospitalares e a degradação ambiental**, 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/en/documents/guide>. Acesso em: 02 jan. 2023.

RIBERO, H. Saúde Pública e Meio Ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Saúde soc.**, v. 13, n. 1, p. 70-80, 2004.

RABELLO, M. S. **Estrutura e propriedades de polímeros**. 2 ed. Campina grande, PB, 2023. Disponível em: <https://sites.google.com/view/marcelorabello/home>. Acesso: 02 jan. 2024.

SANCHETA, L. N.; CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R. The use of system dynamics on urban solid waste management: a literature analysis. **Gestão & Produção**, v. 28, p. e5336, 2021.

SANTOS, M. **O espaço dividido: Os dois circuitos da Economia urbana dos países subdesenvolvidos**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.

SANTOS, M. **Urbanização Brasileira**. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2018.

SANTOS, N. N.; SANTANA, B. N. **Cadeia da reciclagem de polímeros termoplásticos no município de Vila Velha: Estudo de caso da associação de catadores** Revive. 2023. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial)-Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2023.

SANTOS, S. C. S. M. *et al.* Estudo sobre impacto do uso de diferentes polímeros floculantes nas variáveis de processo do desaguamento. 2023.

SANTOS, V. Impactos ambientais. **Uol educação**, [s.d.]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/impactos-ambientais.htm>.

SANTOS, W. I. G. **Economia circular e economia criativa na gestão de resíduos sólidos: interfaces e contribuições na cadeia têxtil.** 2021. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, SP, 2021..

SCHNEIDER, V. E.; EMMERICH, R. C. P. Resíduos de serviços de saúde. *In: Resíduos de serviços de saúde: um olhar interdisciplinar sobre o fenômeno.* Orgs: Vania Elisabete Schneider, Nilva Lúcia Rech Stedile. 3. ed., ampl. e atual. – Caxias do Sul, Educs, 2015. 584p.

SILVA, D. H. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 52, n. 2, p. 155-172, dez. 2009.

SILVA, F. A. O uso sustentável de polímeros. **Revista processos químicos**, n. 21, 2017.

SIMAN FILHO, A. J.; SANFELICE, R. C. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista brasileira de ciência, tecnologia e inovação**, v. 3, n. 2, p. 131-148, 2018.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial.** 3rd. ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 1996.

SITUBA, N. S. Os resíduos sólidos hospitalares na cidade de Eirunepé – Amazonas. **Revista monografias ambientais**, v. 1, n. 3, 2020.

UNEP. **Sobre o Pnuma**, 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/sobre-onu-meio-ambiente>. Acesso em: 02 jan. 2023.

UNICAMP. **Sustentabilidade. Inspira e estimula a ecologia industrial.** 2019. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2019/08/26/sustentabilidade-inspira-e-estimula-ecologia-industrial>. Acesso em: 02 jan. 2023.

ZANATTA, A. P. S.; RAUPP, D. T.; SIMON, N. M. Oficina temática no ensino de química: uma proposta didática com o tema “polímeros e sustentabilidade” para alunos do ensino médio. **Anais... Encontros de Debates sobre o Ensino de Química-ISSN 2318-8316**, n. 41, 2022.