

Reaproveitamento de resíduos sólidos hospitalares: Um estudo sobre a transformação de máscaras termoplásticas em placas para tecnologia assistiva

Reuse of hospital solid waste: A study on the transformation of thermoplastic masks into plates for assistive technology

Reutilización de residuos hospitalarios sólidos: Estudio sobre la transformación de mascarillas termoplásticas en placas para tecnología asistencial

Recebido: 04/04/2024 | Revisado: 15/04/2024 | Aceitado: 16/04/2024 | Publicado: 20/04/2024

Marion Silva da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8406-0542>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: marion.silva@ufsm.br

Leila Maria Araújo Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1513-3717>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: leila.santos@ufsm.br

Luciano Caldeira Vilanova

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1366-0894>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: vilanova@ctism.ufsm.br

Resumo

Sabendo da grande tendência em reaproveitar os resíduos sólidos não biodegradáveis e formadores de lixo para confecção de novos produtos atualmente, a reciclagem do termoplástico é bastante conhecida. Este artigo tem por objetivo propor uma placa para reaproveitar resíduos hospitalares. Foi utilizado o método de recuperação. 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. É composto por policaprolactana reticulada (PCL) e poliuretano (PU). Por meio de processos de recuperação mecânica de termoplásticos e de uma rede de recolhimento dos resíduos, com hospitais públicos e privados, instalou-se o estudo, que promoveu o reaproveitamento de máscaras termoplásticas utilizadas para tratamento de radioterapia, que após o uso são 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, em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, justificam-se os estudos e pesquisas para o reaproveitamento deste material. Espera-se, com a proposta, uma redução de custos ambientais e financeiros, agregando vantagens no tratamento de pacientes que não teriam acesso em técnicas como esta. 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). Assim, pretende-se contribuir minimizando os processos de degradação ambiental, agregando vantagem na redução dos gastos públicos e colaborando no tratamento de pacientes da rede SUS.

Palavras-chave: Máscaras termoplásticas; Placas termoplásticas; Polímero termoplástico.

Abstract

Knowing the great tendency to reuse non-biodegradable and waste-forming solid waste to make new products today, thermoplastic recycling is well known. The low-temperature thermoplastic polymer is an alternative in the manufacture of various assistive technology devices, as it adds excellent combinations of mechanical properties. It is composed of cross-linked polycaprolactan (PCL) and polyurethane (PU). The study was set up using processes for the mechanical recovery of thermoplastics and a waste collection network with public and private hospitals, which promoted the reuse of discarded thermoplastic masks. In the normal cycle of use, masks used for their intended purpose are discarded as solid hospital waste. Based on the concept of Industrial Ecology, in line with the National Solid Waste Policy, studies and research into the reuse of this material are justified. The proposal is expected to reduce environmental and financial costs, adding advantages to the treatment of patients who would not have access to techniques like this. As a result, it is anticipated to be a viable technique for the manufacture of a waste product, for use in hospital contexts and with the potential to be used in hospitals belonging to the Brazilian Hospital Services

Company (EBSERH). The aim is to contribute to minimizing environmental degradation processes, adding advantages in reducing public spending and collaborating in the treatment of patients in the SUS network.

Keywords: Thermoplastic masks; Thermoplastic plates; Thermoplastic polymer.

Resumen

Conocida la gran tendencia a reutilizar residuos sólidos no biodegradables y desechables para fabricar nuevos productos, el reciclado de termoplásticos es ahora bien conocido. El polímero termoplástico de baja temperatura es una alternativa en la fabricación de diversos dispositivos de tecnología asistencial, ya que aporta excelentes combinaciones de propiedades mecánicas. Está compuesto por policaprolactán (PCL) reticulado y poliuretano (PU). En el estudio se utilizaron procesos de recuperación mecánica de termoplásticos y una red de recogida de residuos con hospitales públicos y privados, que promovió la reutilización de las mascarillas termoplásticas desechadas. En el ciclo normal de uso, las mascarillas utilizadas para su fin previsto se desechan como residuos sólidos hospitalarios. Con base en el concepto de Ecología Industrial, en consonancia con la Política Nacional de Residuos Sólidos, se justifican estudios e investigaciones sobre la reutilización de este material. Se espera que la propuesta reduzca los costos ambientales y financieros, agregando ventajas al tratamiento de pacientes que no tendrían acceso a técnicas como ésta. Como resultado, se prevé que sea una técnica viable para la fabricación de un producto desechado para su uso en contextos hospitalarios y con potencial para ser utilizado en hospitales pertenecientes a la Empresa Brasileña de Servicios Hospitalarios (EBSERH). El objetivo es ayudar a minimizar los procesos de degradación ambiental, sumándose a la reducción del gasto público y colaborando en el tratamiento de los pacientes de la red del SUS.

Palavras clave: Mascarillas termoplásticas; Placas termoplásticas; Polímero termoplástico.

1. Introdução

O debate internacional sobre o meio ambiente tem crescido, impulsionado pelos impactos negativos nas atividades humanas. Diversas pesquisas visam reduzir estes impactos, propondo medidas de conscientização e novas políticas ambientais. Além dos Protocolos de Montreal e Kyoto, outros instrumentos internacionais de controle ambiental ganham destaque na busca pela preservação do ecossistema global. Por exemplo, o Acordo de Paris, que visa combater as mudanças climáticas, e o Protocolo de Nagoya, que aborda o acesso e a repartição de benefícios provenientes da utilização de recursos genéticos, são essenciais para enfrentar desafios ambientais contemporâneos. Estes protocolos representam esforços globais significativos para controlar e mitigar os impactos adversos das atividades humanas no meio ambiente.

No contexto dos resíduos sólidos, destaca-se a problemática dos polímeros termoplásticos e elastômeros, que levam anos para degradar se descartados na natureza. A dualidade dos compósitos poliméricos é ressaltada, pois, apesar de serem de fácil manipulação, contribuem para a degradação ambiental se mal descartados.

A discussão sobre o reaproveitamento de resíduos, especialmente os provenientes de polímeros, é considerada crucial, enfatizando a importância das instituições de ensino e pesquisa na promoção de projetos nesse sentido. O texto destaca a necessidade de reflexão também nos contextos hospitalares, onde os resíduos, incluindo os hospitalares, exigem gerenciamento especializado.

O foco passa a ser o Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Maria (HUSM-UFSM), onde o uso de Máscaras Termoplásticas (MTs) como fixadores no tratamento radioterápico gera resíduos sólidos hospitalares. A pesquisa buscou desenvolver acerca do reaproveitamento desses resíduos, transformando as MTs descartadas em placas termoplásticas por meio de um método mecânico. Isso visa não apenas reduzir o impacto ambiental, mas também fornecer alternativas economicamente viáveis para tratamentos, como a tecnologia assistiva.

Nesse sentido, buscou-se mostrar que a reutilização das MTs pode ser uma solução inovadora, contribuindo para a redução de custos sem comprometer a qualidade do tratamento. A abordagem se alinha ao conceito de ecologia industrial, visando comprovar, por meio de estudo experimental, a viabilidade econômica e ambiental do reuso de resíduos sólidos hospitalares na produção de produtos úteis para pacientes do SUS.

O descarte de máscaras termoplásticas como resíduos hospitalares impõe um ônus financeiro à instituição, que é responsável por providenciar a disposição adequada desses resíduos. O termoplástico de baixa temperatura presente nas máscaras

utilizadas em tratamentos de cabeça e pescoço em radioterapia é descartado em conjunto com outros polímeros, o que compromete a viabilidade de sua reutilização na fabricação de novos acessórios destinados à tecnologia assistiva.

2. Referencial Teórico

Aborda-se, como referencial bibliográfico para a pesquisa, a problemática dos resíduos sólidos hospitalares (RSS), destacando sua pequena parcela no total de resíduos urbanos, mas ressaltando seu elevado risco ambiental e para a saúde humana. O aumento do uso de materiais descartáveis em unidades de saúde contribui significativamente para o problema, exigindo reflexão sobre questões ambientais urgentes.

A Resolução 222 da ANVISA, classifica os RSS em cinco grupos, incluindo resíduos biológicos, químicos, radioativos e perfuro cortantes. A gestão adequada dos RSS é crucial, considerando sua composição complexa e potencial risco à saúde e ao ecossistema. A reutilização de RSS pode ter benefícios ambientais, sociais e econômicos, enfatizando a importância do reuso desses materiais (ANVISA, 2018).

A seção seguinte destaca o uso de polímeros nos meios hospitalares desde os anos 1970, devido à sua relação custo/benefício e biocompatibilidade. Equipamentos descartáveis de uso único ganharam popularidade pela segurança contra contaminação e praticidade, levando a uma maior produção de resíduos descartáveis nos hospitais. Os EUA, por exemplo, enfrentam o desafio de lidar com mais de 70% do resíduo médico produzido por hospitais.

Diante dessa realidade, surgiu a necessidade de planos e projetos para lidar com a quantidade significativa de resíduos, principalmente de polímeros, produzidos pelos hospitais. Assim, destaca-se a importância do envolvimento do meio acadêmico na busca por alternativas de solução, ressaltando a necessidade de ações para minimizar ou resolver essa questão complexa.

Os efeitos dos resíduos sólidos hospitalares (RSS) na saúde pública e no meio ambiente, evidencia que o gerenciamento inadequado desses resíduos contribui para impactos negativos. Com o crescimento populacional e avanços tecnológicos, a produção de RSS tem aumentado, apresentando elementos sintéticos prejudiciais. Os impactos ambientais, provenientes de diversas formas de descarte, representam riscos à saúde humana, sendo a exposição a substâncias tóxicas uma preocupação significativa.

2.1 Gestão dos Resíduos

Vale ressaltar a importância da gestão adequada dos resíduos sólidos para a preservação ambiental e saúde pública. A decomposição de materiais orgânicos em aterros sanitários gera chorume e gás metano, causando contaminação do solo, lençol freático e emissão de gases tóxicos. A queima direta também apresenta riscos, enquanto o tratamento final dos resíduos, especialmente do lixo hospitalar, exige regulamentação rigorosa.

2.2 Quanto à Legislação

A ANVISA estabelece que os geradores de resíduos sólidos hospitalares (RSS) são responsáveis por implementar um gerenciamento adequado desses resíduos, incluindo a elaboração de um Plano de Gerenciamento de RSS. Devido aos riscos potenciais desses materiais para o meio ambiente e a saúde, é crucial seguir as etapas de gerenciamento, como identificação, segregação, acondicionamento, transporte, armazenamento, coleta, tratamento e destino, conforme orientações da ANVISA (2004).

A segregação na fonte, realizada por diversos responsáveis, é obrigatória para reduzir o volume de resíduos a serem tratados, visando a proteção da saúde e do meio ambiente. Os geradores de resíduos hospitalares são monitorados pelos órgãos de fiscalização, podendo sofrer sanções por mau gerenciamento, conforme previsto pelo artigo 29 do CONAMA, que estabelece penalidades conforme a Lei n. 9.605/1998 e seu Decreto Regulamentador (Brasil, 2005).

A gestão de resíduos de saúde deve estar em conformidade com as normas estabelecidas para garantir a qualidade do gerenciamento. Apesar da existência de leis ambientais no Brasil, o gerenciamento de resíduos sólidos continua sendo um desafio

no século XXI. Os resíduos classificados como "lixo hospitalar" seguem padrões de descarte de acordo com sua classificação interna, minimizando danos à sociedade e ao meio ambiente, conforme as Normas Brasileiras (NBRs).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) desempenha um papel crucial na deliberação sobre a gestão de resíduos de saúde, exigindo um planejamento baseado em procedimentos técnicos e científicos. O Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) visa otimizar a redução de resíduos hospitalares, estabelecendo procedimentos e treinamentos em conformidade com as legislações vigentes, visando a segurança dos trabalhadores, a saúde pública e a preservação do meio ambiente.

Desse modo, a legislação serve como orientação para o correto gerenciamento dos RSS pelas instituições de saúde, destacando a necessidade de um planejamento eficiente em colaboração entre unidades de saúde privadas e públicas e as entidades públicas responsáveis pela regulamentação ambiental.

2.3 Gestão dos Resíduos Sólidos Hospitalares no Hospital Universitário de Santa Maria

O Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) mantém um Setor de Higienização e Gestão de Resíduos (SHGR), cuja função primordial é executar atividades de apoio visando à promoção da limpeza e organização nas instalações do hospital. Essa iniciativa visa criar um ambiente seguro para todos os públicos que frequentam o hospital, incluindo pacientes, funcionários, visitantes, acompanhantes e demais clientes. O Setor de Hotelaria Hospitalar (STHH), subordinado à Divisão Logística e Infraestrutura Hospitalar, à Gerência Administrativa e à Superintendência, requer a participação dos servidores em capacitações específicas, conforme o plano anual de capacitação e atividades do Núcleo de Educação Permanente em Saúde do HUSM, para assegurar a realização de suas atividades de maneira segura, responsável e com qualidade.

A análise do destino dos resíduos sólidos produzidos pelo HUSM se baseou no PGRSS referente ao período de 2021/2022. Este documento classifica os resíduos sólidos, provenientes da assistência hospitalar e do setor de logística e infraestrutura hospitalar (RCC), abrangendo uma variedade de materiais, como plásticos, papéis, latas, restos de alimentos, entulhos, canos, ferro, madeiras, entre outros.

Em relação aos resíduos recicláveis, incluindo as máscaras termoplásticas em questão, o PGRSS (2021/2022) destaca que esses materiais são recolhidos três vezes por semana pela Associação de Seleccionadores de Materiais Recicláveis (ASMAR). Entretanto, resíduos com textos confidenciais (documentos) são recolhidos diretamente na sala do Setor de Hotelaria Hospitalar, garantindo sua picotagem e descaracterização pela Associação, com a disposição final alinhada à política da ASMAR.

Observa-se que, embora o PGRSS (2021/2022) oriente sobre o destino dos resíduos recicláveis, há uma lacuna no controle desses resíduos ao serem repassados para a ASMAR. Nesse contexto, sugere-se que o Hospital Universitário de Santa Maria, integrado à estrutura da Universidade Federal de Santa Maria, RS, aproveite a expertise da comunidade acadêmica para promover iniciativas de reciclagem dos resíduos sólidos e recicláveis gerados pela instituição, visando aprimorar ainda mais a gestão ambiental e a sustentabilidade.

2.4 Quanto à Ecologia Industrial

O conceito de Ecologia Industrial (EI) emergiu durante os movimentos ambientalistas na década de 1970, sendo fortalecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Este conceito, vinculado à ideia de relação simbiótica aplicada ao processo industrial, visa desenvolver técnicas que reduzam o impacto ambiental da produção industrial. A EI considera o processo industrial como um ciclo, influenciando o consumo de energia e matéria-prima, e propõe a transformação de processos lineares em cíclicos para otimizar o uso de recursos naturais e energia.

Um exemplo destacado é o cluster de indústrias em Kalundborg, na Dinamarca, onde nove empresas trocam mais de 30 produtos entre si, exemplificando a simbiose industrial. A EI foi formalizada em 1989 por Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos,

comparando sistemas industriais a sistemas biológicos naturais. O ideal seria um contexto industrial que minimizasse a geração de resíduos, tratando-os e reintroduzindo-os no ciclo produtivo como matéria-prima para outras indústrias.

A EI busca otimizar o uso de energia e materiais, atribuindo valores econômicos aos produtos gerados para facilitar sua comercialização e uso em outros processos industriais. A atividade industrial, intrinsecamente impactante ao meio ambiente, é abordada pela EI de maneira a minimizar os efeitos negativos, preservando a produtividade e os lucros sem comprometer a geração de empregos e renda.

A EI visa prolongar a vida útil dos componentes dos produtos industrializados, mantendo a matéria-prima no ciclo de produção para reduzir desperdício e rejeitos. Sua implementação envolve a análise do fluxo, modificação do deslocamento da matéria-prima e coordenação dos tipos de fábricas para otimizar recursos. Esses objetivos estão alinhados com as propostas do desenvolvimento sustentável, abrangendo dimensões econômicas, ambientais e sociais.

A sustentabilidade ambiental é crucial devido à produção excessiva de lixo e à poluição, exigindo o desenvolvimento de meios para reciclar e reutilizar materiais descartados. Nesse contexto, os polímeros surgem como objetos de estudo relevantes, apresentando potencial para reaproveitamento e contribuindo para o equilíbrio do sistema ecológico.

2.5 Polímeros

A pesquisa em andamento foca na recuperação mecânica de polímero termoplástico de baixa temperatura biocompatível para a fabricação de placas utilizadas em contextos hospitalares. O estudo abrange conceitos históricos, sociais e definições dos comportamentos dinâmicos e mecânicos dos materiais poliméricos.

O termo "polímero" deriva do grego *poli* (muito) e *mero* (repetição), indicando uma substância composta por muitas partes repetidas. A pesquisa contextualiza o desenvolvimento das pesquisas sobre polimerização desde a década de 1920, destacando o rápido avanço no estudo de polímeros naturais e sintéticos com aplicações industriais. Os polímeros, em sua diversidade, tornaram-se predominantes na indústria de bens de consumo, substituindo materiais como metal, papel, madeira e marfim devido às suas vantagens.

Os polímeros são macromoléculas, formadas por ligações covalentes de milhares de unidades químicas, chamadas monômeros, e sua estrutura influencia seu comportamento físico. A pesquisa classifica os polímeros com base em origem (naturais e sintéticos), composição molecular (homopolímero e copolímero) e plasticidade/forças de atração intermoleculares (termofixos e termoplásticos).

Os termofixos possuem ligações intensas entre suas cadeias químicas, impedindo a recuperação mecânica devido à rigidez e forças de atração moleculares elevadas. Já os termoplásticos possuem ligações secundárias de baixo poder de união, permitindo recuperação mecânica por meio de processos de transformação e moldagem baseados no aumento de temperatura.

A composição química dos polímeros é abordada, distinguindo homopolímeros (compostos por um monômero) de copolímeros (compostos por dois ou mais monômeros). A pesquisa destaca a relevância dos elastômeros termoplásticos, como Borracha Termoplástica (TR) e Elastômero Termoplástico (TPE), que apresentam características elásticas e são de fácil reaproveitamento.

Em relação à sustentabilidade ambiental, a pesquisa enfatiza a importância de manejar adequadamente os resíduos de polímeros termoplásticos, especialmente os termoplásticos de baixa temperatura, devido à sua capacidade de recuperação mecânica e reutilização, contribuindo para a minimização do impacto ambiental.

2.6 Propriedades dos Polímeros quanto aos materiais de fabricação de órteses

O estudo aborda a importância das órteses de membros superiores (MMSS) na reabilitação de déficits neuromusculares ou motores, com foco nas áreas de terapia ocupacional e fisioterapia. Ao longo da história, o homem busca acessórios para auxiliar após a perda de partes do corpo, sendo as órteses um componente crucial nesse contexto.

No setor hospitalar, a escolha do material para órteses tornou-se crucial, buscando eficácia, baixo custo e facilidade de produção. Os polímeros termoplásticos de baixa temperatura (PCL) emergiram como matéria-prima destacada, substituindo materiais convencionais como madeira, alumínio e gesso. A escolha do material deve considerar necessidades patológicas, condições financeiras do paciente e especificidades para o processo de cura.

Diversos materiais são empregados na confecção de órteses, como madeira, alumínio, gesso e PCL. O PCL, devido à sua plasticidade, é considerado uma excelente alternativa, oferecendo precisão, leveza, bom acabamento superficial e resistência mecânica. A análise comparativa de massa específica e resistência à tração destaca que o PCL apresenta características intermediárias entre a madeira e o alumínio.

Propriedades como resistência mecânica, peso reduzido, facilidade de assepsia e radio transparência são essenciais para garantir o máximo conforto ao paciente. O PCL destaca-se nesses aspectos, apresentando-se como uma opção eficaz e sustentável na confecção de órteses. A comparação radiográfica evidencia a maior radio transparência e menor artefato nas órteses de PCL em relação ao gesso.

Conclui-se que o PCL é uma escolha vantajosa na confecção de órteses, oferecendo propriedades que atendem às necessidades clínicas, contribuindo para a eficácia do tratamento e promovendo a sustentabilidade ao reutilizar descartes desse material.

2.7 Máscara e Placa Termoplástica

As máscaras termoplásticas (MTs) constituem acessórios fabricados a partir de materiais sintéticos e são empregadas na imobilização de pacientes durante tratamentos de radioterapia, voltados para a região da cabeça e pescoço. Essas máscaras modernas representam uma substituição aos procedimentos anteriores, que eram desconfortáveis para os pacientes. A moldagem das MTs é realizada por um profissional especializado em radioterapia, como o tecnólogo ou técnico em radiologia. Então, esta especialista segura a máscara pela base, aplicando um movimento de tração em direção à cabeça do paciente para proceder com sua fixação (Brasil, 2010).

As placas termoplásticas referem-se a materiais retangulares de espessura variada, sendo preferencialmente empregadas na Tecnologia Assistiva (TA) no contexto da Terapia Ocupacional (TO), com o intuito de auxiliar na reabilitação de pacientes de acordo com a natureza de sua patologia. Este material possui a característica de ser moldável, destacando a memória térmica como uma de suas principais vantagens. Além disso, as placas são reconhecidas por sua leveza e versatilidade, oferecendo resistência, facilidade de manuseio e limpeza. Podem apresentar superfície lisa ou perfurada, sendo adaptáveis a diversas condições patológicas, conforme a avaliação realizada pelo profissional de Terapia Ocupacional.

3. Metodologia

A fim de proporcionar uma compreensão aprimorada da pesquisa, a metodologia está organizada por etapas, as quais compreendem: a coleta dos materiais termoplásticos (etapa A); a triagem e limpeza minuciosa do material adquirido (etapa B); o processo de moagem do material limpo (etapa C); os testes e a padronização do material moído e limpo (etapa D); e, por último, a moldagem da placa (etapa E).

3.1 Etapa A: Recolhimento do Material Termoplásticos

A pesquisa estabeleceu um acordo com hospitais que disponibilizam máscaras termoplásticas utilizadas em tratamentos de patologias neoplásicas de cabeça e pescoço. Foi constituída, assim, uma rede de recepção dessas máscaras, aptas para descarte, por meio de parcerias firmadas com o Hospital Universitário de Santa Maria – HUSM (onde a pesquisa é conduzida) e a Clínica de Radioterapia Santa Maria. O processo envolve a avaliação, ao término de múltiplas sessões de

tratamento, por profissionais designados, para verificar se as máscaras preservam as características de memória térmica e plasticidade necessárias, assegurando sua rigidez após a moldagem. Além disso, é essencial que as máscaras permitam a marcação dos campos de exposição à radiação diretamente sobre sua superfície, garantindo a precisão durante a administração da dose radioativa. Em casos nos quais as máscaras perdem tais propriedades essenciais, torna-se necessário descartá-las, sendo que o responsável pela análise deve garantir que este descarte ocorra, evitando seu reuso inadequado no tratamento em radioterapia.

3.2 Etapa B: Triagem e Limpeza do Material Recolhido

O processo de triagem das máscaras, como pode-se visualizar na Figura 1, tem início imediatamente após o descarte delas. Quando se confirma a inutilidade das máscaras para fins de radioterapia, elas são submetidas a uma sequência de procedimentos de limpeza. Esse processo envolve limpeza mecânica para remoção de sujidades e limpeza química para desinfecção de patógenos contaminantes. A limpeza abrange a remoção de marcações e a eliminação de sujeiras por meio do uso de água. Caso haja secreção contaminante, é empregado hipoclorito diluído a 10% em água. Após a limpeza, as máscaras são armazenadas em um depósito apropriado até que sejam recolhidas.

Figura 1 – Procedimento de triagem das máscaras descartáveis.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.3 Etapa C: Moagem do Material Limpo

Nesta fase do processo, as máscaras são encaminhadas ao laboratório de transformação de polímeros do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM, onde ocorre a separação dos diferentes polímeros presentes, nomeadamente o termoplástico de baixa temperatura (PCL) e a moldura de policarbonato (PC). A parte destinada à moldura é reservada para testes e outras aplicações. O PCL é submetido à trituração e moagem em um moinho de facas SEIBT 420LR, com capacidade de 240 g/h e potência de 20 cV. Durante o processo, o material passou por peneiras metálicas (Figura 2) de 12 mm de diâmetro. Contudo, a granulometria resultante da trituração com a peneira de 12 mm revelou-se insatisfatória, levando à substituição da peneira por uma de 10 mm para uniformizar a granulometria e garantir uma melhor plastificação do material moído.

Figura 2 - Moinho de facas utilizado no processo de moagem.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.4 Etapa D: Testes e Padronização do Material Moído

Nesta fase, foram conduzidos testes significativos, incluindo a Análise Granulométrica, o teste do Índice de Forma do grão e a Avaliação de Contaminantes no polímero. No teste de Análise Granulométrica, o objetivo foi determinar o percentual de grãos retidos e acumulados nas peneiras de 12 mm e 10 mm, visando definir a dimensão máxima característica e o índice de finura do substrato resultante da moagem do termoplástico de baixa temperatura. Dois ensaios foram realizados, seguindo a Norma Brasileira (NBR NM 248 – Análise Granulométrica).

O Índice de Forma, determinado conforme a NBR 7809 (ABNT, 2005), visou estabelecer o padrão característico da forma do material moído para análise conjunta com a granulometria. As formas encontradas foram classificadas em duas categorias: forma cúbica (Figura 3), em que a partícula apresenta lados semelhantes, e forma alongada (Figura 3), caracterizada por uma grande variação na dimensão do comprimento em relação às demais dimensões.

Figura 3 – Projeção do grão forma cúbica (A) e na forma alongada (B)



Fonte: Autoria própria (2024).

Foram analisadas amostras de material obtido pelas peneiras de 12 mm e 10 mm para o índice de forma. A medição de 200 grãos aleatórios de cada grupo foi realizada com paquímetro, considerando a relação da maior medida (comprimento) com a medida perpendicular (largura). A média dessa relação foi determinada ao final para obtenção do índice de forma.

Além disso, a Avaliação de Contaminantes no polímero foi realizada visualmente para verificar variações de cor e impurezas que pudessem estar presentes devido à contaminação com outros materiais durante os processos de armazenagem ou moagem do material.

3.5 Etapa D: Moldagem

No procedimento de moldagem das placas termoplásticas, foi utilizado uma prensa de aquecimento da marca RIMAQ (STAMPCOR PLUS), originalmente empregada para estampar tecidos, com capacidade para alcançar até 300°C. Essa prensa possui um controlador eletrônico de temperatura analógico programável que regula o aquecimento e monitora a temperatura durante o processo, enquanto o controle da pressão é efetuado por uma alavanca mecânica com capacidade de ajuste.

Para adaptar o equipamento ao propósito da pesquisa, foram substituídos os revestimentos das faces da prensa por duas chapas de alumínio, visando uma dissipação de calor mais eficiente. Adicionalmente, um molde retangular de alumínio foi construído para acomodar os materiais moídos de termoplásticos e conferir a forma desejada às placas termoplásticas durante o processo de plastificação. Estudos preliminares indicaram benefícios na escolha do alumínio, sugerindo uma redução no tempo de plastificação e melhoria no desempenho térmico do molde.

4. Resultados e Discussões

A exposição dos resultados está dividida em três seções: na primeira, serão discutidos os resultados relativos à coleta do material; na segunda, serão abordados os resultados referentes ao processamento do material a ser reaproveitado; e, na terceira, serão apresentados os resultados relacionados à fabricação da placa termoplástica.

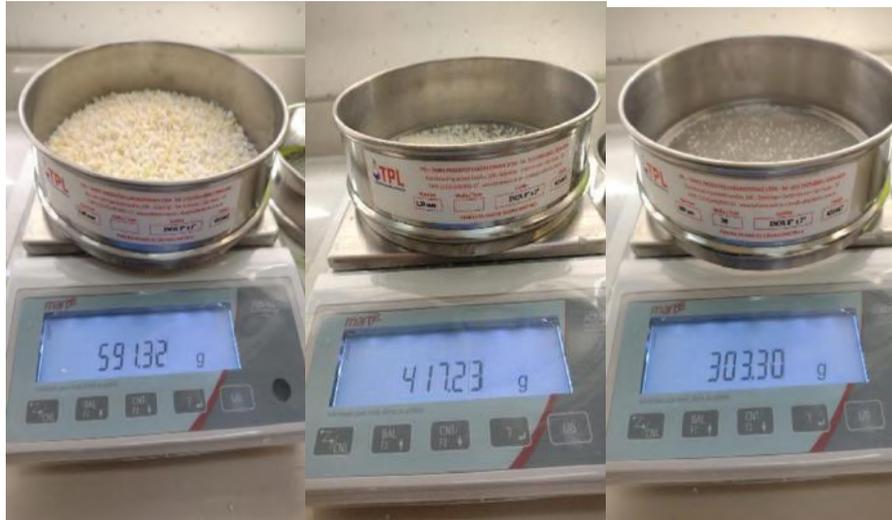
4.1 Processo de Recolhimento do Material

Após a seleção das instituições parceiras, Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM) e Clínica Radioterapia de Santa Maria, foram recolhidas máscaras termoplásticas (MTs) de tratamento de patologias neoplásicas de cabeça e pescoço. O HUSM forneceu 30 kg, representando 100% das máscaras utilizadas, enquanto a Clínica de Radiologia contribuiu com 4,8 kg, igualmente 100%. No total, foram recolhidos 34,8 kg para a pesquisa. O transporte e coleta foram realizados pelo pesquisador nas instituições parceiras.

4.2 Processamento das Máscaras

O material recolhido foi submetido a dois ensaios de análise granulométrica, seguindo a norma NBR NM 248, visando determinar a dimensão máxima característica e o índice de finura. As amostras foram analisadas em peneiras de 12 mm e 10 mm, sendo constatada uma mudança no tamanho do agregado após a troca da peneira.

Figura 4 - Material retido de acordo com NBR NM 248, para análise de granulometria. Aberturas de 2,4 mm; 1,2 mm e 600 μm , respectivamente.



Fonte: Autoria própria (2024).

A análise do Índice de Forma revelou uma uniformização do agregado de polímero de baixa temperatura após a troca de peneiras, otimizando o processo. Análises estatísticas das amostras de 10 mm e 12 mm destacaram diferenças significativas, qualificando a amostra de 10 mm como a melhor opção para homogeneizar a plastificação.

A avaliação da contaminação indicou que o material moído manteve as cores originais das MTs, mas apresentou contaminação devido ao compartilhamento do moinho com outros materiais.

4.3 Fabricação da Placa

A moldagem das placas termoplásticas foi realizada em uma prensa de aquecimento RIMAQ. O material moído foi distribuído uniformemente em um molde de alumínio, submetido a pressão e temperatura controladas. O processo resultou em placas com 3 mm de espessura. A utilização de cinco máscaras permitiu a produção de uma placa de 40x30 cm (Figura 5), pesando aproximadamente 500 g.

Figura 5 – Placa final.



Fonte: Autoria própria (2024).

Durante o processo, constatou-se que a uniformidade de um grão de 10 mm proporcionou a melhor relação custo-benefício na obtenção da placa com massa aproximado de 500g, com medidas de 400x300x3mm, e, com isso, alcançando o resultado esperado pelo projeto.

5. Considerações Finais

O artigo apresentado é parte dos estudos que foram desenvolvidos no Mestrado em Educação Profissional e Tecnológica, na linha de pesquisa 3 – Inovação para Educação Profissional e Tecnológica, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. No intuito do que se propôs, com relação ao descarte de máscaras termoplásticas como lixo hospitalar, o estudo teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma alternativa para o problema dos resíduos de polímeros no meio ambiente, na tentativa de diminuir o impacto ambiental no descarte.

Acredita-se que, ao longo da trajetória profissional e acadêmica do pesquisador, foi essencial para o desenvolvimento e andamento da pesquisa apresentada neste artigo, ao passo que o estudo com as máscaras termoplásticas começou tão logo quando ele ingressou na área de radioterapia, a qual sempre o instigou a desenvolver mais estudos.

Dessa forma, a partir do primeiro passo percorrido, de identificar, no setor da radioterapia, materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura que, ao serem descartados, poderiam ser reaproveitados em processos de reciclagem, destaca-se o recolhimento das máscaras para avaliação, nos locais mencionados. Quanto às pesquisas e relatos de técnicas para o reaproveitamento dos materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura, pode-se verificar que a recuperação mecânica se demonstrou como a mais eficaz e economicamente viável.

Nossa metodologia foi realizada em etapas cruciais, nas quais foram feitos o recolhimento do material termoplásticos; a triagem e limpeza do material recolhido; ainda, a moagem do material limpo; após, os testes e a padronização do material moído e limpo; e, por fim, a moldagem da placa.

Diante disso, salienta-se que os testes realizados foram fundamentais para que chegássemos na obtenção final da placa, uma vez que a moagem das máscaras, utilizando diferentes peneiras, resultou em espessuras distintas dos grãos. A partir dos testes de massa e espessura da moagem, constatou-se cinco máscaras como suficientes para a produção de uma placa.

Na tentativa de estimular o desenvolvimento de um processo de reciclagem e aproveitamento da matéria-prima, extraída dos materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura, percebeu-se que o estudo pode trazer benefícios à sociedade, pois, verificou-se que aumenta a vida útil do polímero, que descartado de outra forma, reduziria sua produção, diminuindo a demanda por matérias-primas. Além disso, a produção de placas termoplásticas, com custo reduzido, pode contribuir para o meio ambiente, beneficiando pacientes que não tenham acesso às placas termoplásticas industrializadas, devido às questões financeiras.

Então, apesar dos desafios encontrados no decorrer da pesquisa, no processo de fabricação da placa, e todos os passos que perpassam a reciclagem, ela se mostra uma atividade viável e de suma importância para o meio ambiente, pois contribui na redução dos impactos da poluição causada pelo homem, agregando valor à economia e ao desenvolvimento sustentável do país, podendo mostrar, em estudos futuros, outros desenvolvimentos que um processo de reciclagem, bem como o aproveitamento da matéria-prima, extraída de materiais de polímeros termoplásticos de baixa temperatura, pode promover, diante de cada contexto.

Referências

Abrelpe (2015). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*.

ABNT. (2004). *Agregados: Determinação da composição granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.

Anvisa (2004) *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.

Anvisa (2018) . *Resolução da Diretoria Colegiada nº 222, de 28 de março de 2018*, 2018.

- Brasil (2005) Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução n 358, 29 de abril de 2005*.
- Brasil (2010) Política Nacional dos resíduos sólidos. *Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010*.
- Brasil (2019). 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.
- Brasil L (2005) . *Resolução CONAMA nº 358, 29 de abril de 2005*.
- Borowy, I. (2020). Resíduo hospitalar: o lado sombrio da assistência médica. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 27, 231-251.
- Cruz, F. N. D. (2015). Ecossistemas industriais: análise bibliométrica da publicação científica mundial e brasileira sobre o tema. 155 f. *Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Aplicadas)* - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- Da Silva, F. A., & Rabelo, D. (2017). O uso sustentável de polímeros. *Revista Processos Químicos*, 11(21), 9-16.
- Dos Santos, V. *Impactos ambientais*. Uol educação (online) [s.d.].
- Ebserh (2021a). *Manual de Procedimentos da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares*.
- Ebserh (2021b). *Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde - PGRSS*.
- Filho, A. J., & Sanfelice, R. C. (2018). Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. *Revista brasileira de ciência, tecnologia e inovação*, 3(2), 131-148.
- Meu Resíduo (2004). *A classificação de resíduos sólidos segundo a ABNT NBR 1004/2004*.
- OPAS-Organização Pan Americana de Saúde (2022). *Os Resíduos Hospitalares e a degradação ambiental*, 2022. Disponível em:
- Rabello, M. S (2021). *Estrutura e propriedades de polímeros*. 1 ED. Campina grande, PB.
- Silva, D. H. D. (2009). Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. *Revista brasileira de política internacional*, 52, 155-172.
- Santos Situba, N. (2020). Os resíduos sólidos hospitalares na cidade de Eirunepé-Amazonas. *Revista Monografias Ambientais*, 19.
- Schneider, v e & Emmerich, R de 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. (3a ed.), Educs, 2015. 584p.
- UNEP (2020). *Sobre o Pnuma*.