



ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS PARA A PRODUÇÃO DE FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D¹

POLYMERIC WASTE TREATMENT PLANT FOR PRODUCTION OF 3D PRINTING FILAMENTS

Nathália Aparecida Borges Fonseca | nathalia.fonseca2@fatec.sp.gov.br | FATEC SJC

Vitor Fernando de Oliveira Santos | vitor.santos151@fatec.sp.gov.br | FATEC SJC

Alfred Makoto Kabayama | alfred.makoto@fatec.sp.gov.br | FATEC SJC

RESUMO

Este trabalho aborda o desperdício de resíduos poliméricos na indústria, causado pela reciclagem inadequada. O objetivo geral é demonstrar a viabilidade de implementar uma estação de tratamento dentro da empresa para transformar esses resíduos em filamentos para impressão 3D, ajudando a empresa a se inserir na indústria digital. A metodologia inclui a análise dos fluxos de resíduos e produção, bem como a avaliação dos benefícios e desafios dessa implementação. Os resultados indicam que a reciclagem interna dos polímeros pode reduzir significativamente o volume de resíduos descartados e gerar novos produtos a partir de materiais reciclados. Conclui-se que essa prática, além de promover a sustentabilidade, pode aumentar a eficiência produtiva da empresa, embora existam obstáculos a serem superados, como os custos iniciais e a adaptação dos processos produtivos.

Palavras-chaves: Resíduos Poliméricos. Manufatura Aditiva. Indústria digital.

ABSTRACT

This study addresses the waste of polymer residues in the industry caused by inadequate recycling practices. The main objective is to demonstrate the feasibility of implementing a treatment station within the company to convert these residues into filaments for 3D printing, helping the company integrate into the digital industry. The methodology includes analyzing waste and production flows and evaluating the benefits and challenges of such implementation. The results indicate that internal recycling of polymers can significantly reduce the volume of discarded waste and generate new products from recycled materials. It is concluded that this practice, in addition to promoting sustainability, can enhance the company's production efficiency, although there are obstacles to overcome, such as initial costs and the adaptation of production processes.

Keywords: Polymer Waste. Additive Manufacturing. The digital industry.

¹ Artigo apresentado no Congresso Cimatech da Fatec de São José dos Campos, 2024

1. INTRODUÇÃO

O início do século XXI foi marcado por dois acontecimentos relevantes, a inserção da China no mercado global de fornecimento e a crescente popularização da Internet. Após a Revolução Industrial, os resíduos começaram a ganhar importância, principalmente para a saúde pública e na forma como os indivíduos se comportavam (De Moura *et al.*, 2023). A partir de 1970 os resíduos realmente tiveram um peso ambiental, tanto em nível nacional quanto internacional, pois o tema foi abordado em grandes encontros mundiais, como nas conferências de Estocolmo nos anos 70 e na ECO 92 no final dos anos 90 (Velloso; Wilson, 2008).

Esses eventos resultaram em uma abundância de novas ofertas e na redução dos preços de equipamentos e produtos, incluindo as tecnologias de manufatura aditiva. Essa recente mudança e parte da Revolução da Redução de Resíduos foi responsável por uma consequente mudança econômica e social (Worrell; Vesilind, 2011), as quais pressionaram alterações em leis, nacionais e internacionais, que enfatizam a prática da não geração e redução de resíduos (Brasil, 2010).

Entretanto, a questão da gestão de resíduos persiste como um desafio crítico. Além do expressivo crescimento da geração desses resíduos, observam-se, ainda, ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em sua composição, fatores, níveis (Moura *et al.*, 2024) e características aumentou sua periculosidade (OMS, 2010; Moura; Jesus; Souza, 2019).

No Brasil, a cadeia de suprimento para resíduos pós-consumo apresenta deficiências significativas. A maior parte desses resíduos não é adequadamente coletada, separada ou tratada, sendo frequentemente enviada para lixões e aterros sanitários sem a devida triagem. Dessa condição resulta que os resíduos tóxicos podem contaminar o solo e as fontes subterrâneas de água, enquanto os gases produzidos no processo de decomposição são liberados no meio ambiente de forma não controlada (Gouveia, 1999).

A pesquisa nacional de saneamento básico mostrou que um em cada três municípios brasileiros passou por situações de enchentes, entre 2004 e 2008, e que 30,7% das prefeituras consideram que os resíduos jogados em ruas, avenidas, lagos, rios e córregos causaram as enchentes nas cidades. A gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos inclui a redução da produção nas fontes geradoras, o reaproveitamento, a coleta seletiva com inclusão de catadores de materiais recicláveis e a reciclagem com recuperação de energia (Klunder; Adedipe, 2005).

O descarte inadequado de resíduos poliméricos na indústria tem gerado desperdícios significativos, tanto de material quanto de oportunidades de reaproveitamento. Grande parte desses resíduos, que poderia ser reciclado e reintroduzido nos processos produtivos, acaba sendo descartado de maneira ineficiente. Isso não só aumenta o impacto ambiental, como também resulta em perdas econômicas para as empresas. A implementação de uma estação de tratamento que permita a transformação dos polímeros descartados em filamentos para impressão 3D apresenta-se como uma solução inovadora e sustentável, além dos ganhos tangíveis, tem ganhos intangíveis como a percepção de qualidade e bem-estar por parte dos indivíduos (Oliveira *et al.*, 2023) e também impulsionar a economia circular.

Além disso, essa iniciativa favorece a integração das empresas ao contexto da Indústria 4.0, que exige a adoção de tecnologias avançadas e práticas de produção mais eficientes. A fabricação de filamentos reciclados para uso em manufatura aditiva não só otimiza o uso de recursos, como também posiciona a empresa na vanguarda tecnológica, tornando-a mais competitiva e ambientalmente responsável. Contudo, essa transição pode trazer desafios. É possível implementar uma estação de tratamento na empresa, capaz de transformar esses resíduos em filamentos para impressão 3D. Com isso, visa-se auxiliar a empresa na sua inserção no contexto da indústria digital, ao mesmo tempo que se evidenciam os benefícios e as dificuldades que as empresas podem enfrentar nesse processo (Sousa *et al.*, 2024).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 INDÚSTRIA DIGITAL

A Indústria digital ou 4.0 pertence a quarta Revolução Industrial, caracterizando-se pela integração de tecnologias avançadas e digitais ao ambiente industrial, transformando processos produtivos e modelos de negócios. Esse conceito surgiu na Alemanha e visa conectar o mundo físico e digital por meio de sistemas ciberfísicos, inteligência artificial, big data, *internet* das coisas, robótica avançada e a manufatura aditiva com impressão 3D, tecnologias emergentes fundamentais para a implementação da Indústria 4.0, cada uma desempenhando um papel específico na transformação industrial, permitindo fábricas mais inteligentes, autônomas e eficientes (Totvs, 2023; Fia, 2020).

Uma das princípios centrais da Indústria 4.0 é a automação inteligente, na qual máquinas, equipamentos e sistemas operam com alto nível de autonomia, colaborando entre si e tomando decisões baseadas em dados em tempo real, a flexibilidade e personalização também são

características cruciais dessa revolução (Moura; Moura, 2019).

Ao contrário dos modelos tradicionais de produção em massa, a Indústria 4.0 possibilita a personalização em larga escala, adaptando linhas de produção para atender demandas específicas do consumidor sem comprometer a eficiência (Melo, 2024).

De acordo com Souza *et al.* (2017), a implantação da Indústria 4.0 traz diversos benefícios, como o aumento da produtividade, a redução de custos operacionais e a melhoria da qualidade dos produtos. Entretanto, também apresenta desafios consideráveis, o alto custo inicial de implementação demanda um investimento considerável, podendo criar barreiras para pequenas e médias empresas. Além disso, a questão da segurança cibernética torna-se crítica, visto que a conectividade entre máquinas e sistemas aumenta a vulnerabilidade a ataques virtuais (Totvs, 2023).

2.2 POLÍMEROS E OS PROCESSOS DE RECICLAGEM

Segundo Castilho (2017), os polímeros são macromoléculas compostas por unidades menores chamadas monômeros, que se repetem em longas cadeias. Eles podem ser naturais, como o látex e a celulose, ou sintéticos, como os plásticos amplamente utilizados na indústria moderna. Graças à sua versatilidade e propriedades físicas, os polímeros sintéticos têm um papel crucial em várias áreas, desde embalagens até peças de veículos, mas também representam um grande desafio ambiental devido à sua lenta degradação se descartados incorretamente (Compostos, 2021).

Os polímeros sintéticos, especialmente os plásticos, são largamente usados pela indústria em virtude de suas características como durabilidade, leveza e resistência química. Entre os polímeros mais comuns estão o polietileno, polipropileno, policloreto de vinila (PVC), poliestireno e o acrilonitrila butadieno estireno - ABS (Spinacé *et al.*, 2004).

Conforme Barbosa (2022) a reciclagem de polímeros é uma alternativa essencial para minimizar o impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado de plásticos e outros materiais poliméricos classificados de acordo com as técnicas:

- **Reciclagem Mecânica:** Consiste no reprocessamento de polímeros por métodos mecânicos, como a moagem e a fusão.
- **Reciclagem Química:** Nesse processo, os polímeros são decompostos em seus monômeros ou outras substâncias químicas por meio de processos como pirólise, hidrogenação ou gasificação.
- **Reciclagem Energética:** Trata-se da conversão de resíduos poliméricos em energia por meio de processos de combustão controlada.

De acordo com Santos, Agnelli e Manrich (2004), apesar da importância da reciclagem de polímeros, o processo enfrenta diversos desafios. Um dos principais obstáculos é a contaminação dos resíduos plásticos, que dificulta sua reutilização, além disso, muitos produtos plásticos são compostos por camadas de diferentes materiais, o que exige etapas adicionais para separação.

Por outro lado, a evolução das tecnologias de reciclagem abre novas oportunidades para maximizar o reaproveitamento dos polímeros, como por exemplo o crescente interesse em filamentos reciclados para a impressão 3D, que oferece uma nova forma de dar destino sustentável aos polímeros reciclados, gerando valor agregado para resíduos plásticos e fomentando a economia circular (Figueiredo, 2022).

A reciclagem de polímeros não só reduz o impacto ambiental causado pela disposição inadequada de plásticos, como também contribui para a economia de recursos naturais e energéticos (Spinacé *et al.*, 2004). A produção de plástico a partir de polímeros reciclados consome menos energia do que a produção a partir de matéria-prima virgem, além de reduzir a extração de petróleo, principal insumo para a fabricação de plásticos. Assim, a reciclagem apresenta-se como uma solução indispensável para o desenvolvimento sustentável da indústria e para a proteção do meio ambiente (Rodrigues, 2018).

2.3 SUSTENTABILIDADE E SUA IMPORTÂNCIA NA INDÚSTRIA

A sustentabilidade, definida como a busca por equilíbrio entre as atividades humanas e a preservação dos recursos naturais, visando garantir que o uso dos recursos naturais não comprometa a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades (Souza, 2018).

A aplicação do conceito de sustentabilidade envolve três pilares: ambiental, econômico e social, integrados de forma a promover o desenvolvimento sustentável, que busca a manutenção da qualidade de vida e do bem-estar social em longo prazo (Totvs, 2022b). A adoção de práticas sustentáveis pela indústria é uma resposta essencial ao crescente esgotamento dos recursos naturais e à necessidade de reduzir os impactos ambientais (Scaglia, 2023).

A Totvs (2022b), destaca que as tendências de sustentabilidade na indústria vão além da simples redução de emissões ou da reciclagem de resíduos, entre essas tendências citam-se:

- **Economia Circular:** Significa redesenhar processos e produtos para que os materiais e recursos possam ser continuamente reutilizados, evitando o desperdício.
- **Eficiência Energética:** O uso eficiente de energia é uma das práticas mais adotadas pelas indústrias, com foco na utilização de fontes renováveis.
- **Gestão Sustentável de Resíduos:** A gestão adequada de resíduos industriais, incluindo sua reutilização e reciclagem.

Segundo Scaglia (2023), a sustentabilidade industrial também desempenha um papel crucial na preservação dos recursos para as futuras gerações, ao se adotar práticas que promovam a conservação de recursos naturais, a redução de resíduos e a eficiência energética, as indústrias ajudam a reduzir o impacto humano sobre o meio ambiente, contribuindo para um futuro mais equilibrado e sustentável. A transição para um modelo de indústria sustentável não apenas protege o meio ambiente, mas também fortalece as bases econômicas das empresas, permitindo que elas se mantenham competitivas em um mercado cada vez mais voltado para o desenvolvimento sustentável (Souza, 2018).

2.4 MANUFATURA ADITIVA E SEUS BENEFÍCIOS

A manufatura aditiva, é um processo que permite a fabricação de objetos tridimensionais por meio da adição de camadas sucessivas de material, esse processo começa com a criação de um modelo digital em software de design, em seguida, esse modelo é dividido em camadas e enviado para uma impressora 3D que deposita o material escolhido, até que o objeto seja construído (De Carvalho; Volpato, 2017). Os materiais mais comuns usados nesse processo incluem plásticos, metais, cerâmicas e resinas, mas a tecnologia também permite o uso de materiais mais exóticos, como polímeros especiais e até mesmo alimentos. Gouvea (2023) destaca uma série de vantagens em relação aos métodos tradicionais, assim, tornando-a revolucionária para várias indústrias. Entre os benefícios mais significativos pode-se citar:

- Redução de desperdício
- Customização em massa
- Redução de tempo de produção
- Complexidade sem custo adicional
- Sustentabilidade

Pereira (2023) destaca a transformação que a manufatura aditiva vem trazendo para vários setores industriais, na indústria automotiva, por exemplo, a impressão 3D é usada para a produção de peças leves e resistentes, além de permitir a rápida criação de protótipos, no setor aeroespacial, componentes críticos podem ser impressos com precisão extrema, reduzindo o peso das aeronaves e, conseqüentemente, economizando combustível. A possibilidade de criar peças sob demanda também facilita a logística e a gestão de estoques, uma vez que as peças podem ser fabricadas diretamente no local de uso, diminuindo o tempo de espera e os custos de transporte (Portela, 2022).

Apesar de seus muitos benefícios, um dos principais desafios está relacionado ao custo dos materiais e equipamentos, que ainda pode ser proibitivo para pequenas e médias empresas, além disso, a velocidade de impressão de algumas tecnologias ainda é lenta para produção em larga escala (De Carvalho; Volpato, 2017). Com o avanço das tecnologias de impressão e o desenvolvimento de novos materiais, espera-se que o custo da tecnologia diminua e sua aplicação aumente significativamente nos próximos anos (Pereira, 2023).

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE DADOS

Neste estudo, os dados serão coletados por meio de um questionário aplicado a três empresas de grande porte do setor industrial, que possuem processos de produção geradores de resíduos poliméricos. Dada a natureza limitada do número de respondentes, a análise dos dados será de caráter qualitativo, com ênfase na compreensão das práticas atuais de gestão de resíduos poliméricos e nas percepções dessas empresas sobre a implementação de uma estação de tratamento para reciclagem e produção de filamentos para impressão 3D. O questionário será estruturado em formato *Google Forms* e enviado via e-mail para um público-alvo selecionado. Os dados obtidos serão analisados de maneira descritiva, focando nas respostas das empresas em relação a:

- Quantidade de resíduos poliméricos gerados;
- Métodos utilizados atualmente para descarte ou reaproveitamento desses resíduos;
- Interesse e viabilidade na adoção de tecnologias de reciclagem polimérica;
- Desafios e oportunidades das empresas para implementar a estação de tratamento.

Os dados serão organizados e discutidos de forma qualitativa, com foco nas respostas individuais de cada empresa. As informações serão apresentadas em formato narrativo, descrevendo as práticas e percepções de cada organização e destacando os pontos mais relevantes para o estudo.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A FUTURA ESTAÇÃO

Para a implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos, são necessários diversos equipamentos específicos que permitirão a coleta, processamento e produção de filamentos reciclados para impressão 3D. A seguir, detalhamos os principais equipamentos que compõem a estrutura da estação:

- Separador de polímeros dos diferentes tipos de plásticos (PET, PP, PE, ABS, etc.).
- Triturador: Responsável por moer os resíduos plásticos, transformando-os em pequenos flocos que são mais fáceis de processar nas etapas subsequentes.
- Lavadora industrial de plásticos: Responsável por remover impurezas, como sujeira, restos de outros materiais e contaminantes.
- Secadora: Utilizada para remover a umidade dos flocos de polímeros após a lavagem.
- Extrusora: Responsável por derreter e fundir os flocos de polímeros, transformando-os em filamentos contínuos que podem ser utilizados diretamente nas impressoras 3D.
- Bobinadora: Garante que os filamentos sejam enrolados de maneira uniforme e sem emaranhados.
- Sistema de controle de qualidade: Essencial para garantir que os filamentos reciclados atendam às especificações exigidas.
- Além dos equipamentos principais, outros sistemas auxiliares podem ser necessários para o bom funcionamento da estação, como:
 - Esteiras transportadoras: para mover o material entre as etapas de processamento.
 - Silos de armazenamento: para estocar os flocos de polímeros triturados antes da extrusão.
 - Sistemas de ventilação e filtragem de ar: para garantir a segurança e limpeza do ambiente de trabalho, especialmente durante o processo de extrusão.

A estação proposta teria como objetivo a reciclagem de resíduos poliméricos gerados pela indústria e sua transformação em filamentos para impressão 3D. O processo seria composto pelas seguintes etapas principais:

- Coleta e Separação dos Resíduos;
- Moagem e Lavagem;
- Secagem e Extrusão;
- Controle de Qualidade.

A implementação da estação de tratamento de resíduos poliméricos requer um investimento inicial significativo em equipamentos especializados, mas os benefícios potenciais, como a redução de custos com matéria-prima e o alinhamento com práticas sustentáveis, justificam o investimento. Além disso, muitos dos equipamentos listados podem ser ajustados ou otimizados de acordo com as necessidades específicas de cada empresa. A escolha dos equipamentos deve levar em consideração fatores como o volume de resíduos a ser processado, o tipo de polímeros utilizados e a qualidade dos filamentos desejada. A correta operação e manutenção dos equipamentos também são cruciais para garantir a eficiência do processo de reciclagem e a produção de filamentos de alta qualidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Todas as empresas participantes confirmaram o uso de polímeros em seus processos de produção. A quantidade de resíduos poliméricos gerada mensalmente variou entre as empresas. Uma das empresas relatou um volume entre 100 e 500 quilos de refugo polimérico por mês, enquanto as outras duas geram mais de 500 quilos por mês. Esses dados demonstram um volume significativo de resíduos que, caso reciclado, poderia ser transformado em novos materiais, como filamentos para impressão 3D.

4.2 DESCARTE DOS RESÍDUOS POLIMÉRICOS

Atualmente, duas das empresas adotam a venda dos seus resíduos para empresas de reciclagem externa. A terceira empresa informou que o descarte dos resíduos poliméricos é realizado por meio de aterro sanitário. Nenhuma das empresas adotam práticas de reciclagem em seus processos, entretanto as três empresas demonstraram interesse em aumentar sua eficiência no uso de materiais reciclados. Isso evidencia a oportunidade de se explorar práticas de reciclagem mais eficientes dentro das próprias empresas, minimizando o impacto ambiental e gerando valor agregado a partir dos resíduos.

4.3 INTERESSE NA ADOÇÃO DE PRÁTICAS DE RECICLAGEM

Todas as empresas expressaram algum grau de interesse em adotar práticas de reciclagem para os resíduos poliméricos, principalmente em relação à possibilidade de reduzir os custos e melhorar a imagem da empresa perante o mercado. Duas das empresas tem interesse em adotar essa tecnologia futuramente, principalmente para o desenvolvimento de novos produtos. A terceira empresa já utiliza impressão 3D para a produção de peças e protótipos. A possibilidade de utilizar filamentos reciclados foi vista de forma positiva pelas empresas, tanto do ponto de vista econômico quanto sustentável. No entanto, a implementação de uma estação de reciclagem interna ainda é vista como desafiadora, principalmente devido aos custos iniciais e à necessidade de treinamento técnico.

4.4 CUSTOS NECESSÁRIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos exige um planejamento financeiro detalhado. Este capítulo apresenta uma estimativa dos principais custos envolvidos na instalação da estação, incluindo o valor dos equipamentos, mão de obra especializada, custos operacionais e outras despesas necessárias para o funcionamento adequado da estação. Os principais equipamentos que compõem a estação de tratamento de resíduos poliméricos, conforme descrito no capítulo anterior, têm um impacto significativo no investimento inicial. A Figura 1 ilustra as estimativas de custo para cada um dos equipamentos mencionados.

Figura 1 | Custos estimados dos equipamentos

Equipamento	Valor Estimado (R\$)
Separador de Polímeros	35.000 - 100.000
Triturador	60.000 - 150.000
Lavadora Industrial de Plásticos	25.000 - 70.000
Secadora de Plásticos	20.000 - 50.000
Extrusora de Filamentos	150.000 - 400.000
Bobinadora de Filamentos	15.000 - 50.000
Sistema de Controle de Qualidade	35.000 - 100.000
Esteiras Transportadoras	5.000 - 30.000
Silos de Armazenamento	25.000 - 60.000
Sistema de Ventilação e Filtragem de Ar	10.000 - 40.000
Total Estimado	380.000 - 1.100.000

Fonte: Autores (2024).

Esses valores podem variar de acordo com o fornecedor, a capacidade de produção e o grau de automação necessário. Empresas que já possuam parte dos equipamentos ou instalações podem reduzir significativamente o investimento inicial.

4.5 BARREIRAS PARA ADOÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE RECICLAGEM

Entre as principais barreiras mencionadas para a adoção de uma estação de reciclagem de resíduos poliméricos, as empresas destacaram:

- Investimento inicial elevado: Todas as empresas reconhecem que o custo de implementação de uma estação de reciclagem pode ser um obstáculo, especialmente considerando os equipamentos e a infraestrutura necessária.
- Falta de conhecimento técnico: Algumas empresas mencionaram a necessidade de adquirir conhecimento especializado para operar a estação e lidar com os processos de reciclagem e extrusão de filamentos.
- Espaço físico: Duas das empresas relataram que a limitação de espaço físico nas fábricas atuais poderia dificultar a implementação de uma estação completa.

4.6 INFRAESTRUTURA

Além dos equipamentos, a instalação da estação exige investimentos em infraestrutura, como adequação do espaço físico, instalação elétrica, sistemas de segurança e adaptação às normas ambientais. A Figura 2 ilustra os principais custos relacionados à infraestrutura.

Figura 2 | Infraestrutura requerida

Instalação e Infraestrutura	Valor Estimado (R\$)
Adaptação do Espaço Físico	30.000 - 150.000
Instalação Elétrica e Hidráulica	20.000 - 80.000
Sistemas de Segurança e Controle de Incêndio	5.000 - 40.000
Licenciamento Ambiental e Regulatório	5.000 - 20.000
Total Estimado	60.000 - 290.000

Fonte: Autores (2024).

Os custos operacionais envolvem a manutenção dos equipamentos, contratação de mão de obra qualificada e consumo de energia e água durante a operação da estação. Na Figura 3 é ilustrado uma estimativa dos custos mensais.

Figura 3 | Custos Operacionais

Custos Operacionais	Valor Estimado (R\$)
Mão de Obra Especializada(3 a 5 funcionários)	10.000 - 30.000
Energia Elétrica (dependendo da capacidade produtiva)	5.000 - 20.000
Consumo de Água para Lavagem de Resíduos	5.000 - 10.000
Manutenção de Equipamentos	5.000 - 15.000
Total Estimado	25.000 - 75.000

Fonte: Autores (2024).

4.7 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)

O retorno sobre o investimento (ROI) para a implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos pode ser alcançado em médio prazo, dependendo de fatores como a quantidade de resíduos processados, a demanda por filamentos reciclados e a eficiência operacional da estação. Na Figura 4 ilustra-se um exemplo de cálculo de ROI baseado em uma produção média de 10 toneladas de filamentos por mês.

Figura 4 | ROI

Retorno Sobre o Investimento	Valor Estimado (R\$)
Custo Médio de Produção por Tonelada de Filamento	4.000
Preço de Venda do Filamento no Mercado	15.000
Lucro Bruto por Tonelada Estimado	11.000

Fonte: Autores (2024).

Com uma produção de 10 toneladas mensais, o lucro bruto mensal seria de R\$ 110.000,00. Considerando os custos operacionais de R\$ 50.000,00 por mês, o lucro líquido mensal seria de R\$ 60.000,00. Dessa forma, o ROI estimado poderia ser alcançado em 2 a 5 anos, dependendo do valor inicial investido e da capacidade produtiva. Com base nas informações, o investimento total necessário para implementar uma estação de tratamento de resíduos poliméricos pode variar entre R\$ 440.000,00 e R\$ 1.390.000,00 incluindo custos de equipamentos, infraestrutura e mão de obra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a viabilidade da implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos para a produção de filamentos para impressão 3D, abordando as hipóteses discutidas ao longo do trabalho. A conclusão é que a reciclagem inadequada de resíduos poliméricos na indústria resulta em desperdício significativo de materiais que poderiam ser reaproveitados de maneira sustentável.

Os resultados obtidos demonstram que a transformação desses resíduos em filamentos para impressão 3D é viável e benéfica tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. A implementação de uma estação de tratamento pode reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários, promover a economia circular e integrar a empresa no contexto da Indústria 4.0.

Entretanto, a transição para essa nova prática apresenta desafios, como a necessidade de investimentos iniciais, ajustes nos processos de produção e a qualificação de profissionais. Apesar dessas dificuldades, os benefícios superam os obstáculos, destacando-se a redução de custos com matérias-primas, a diminuição do impacto ambiental e o fortalecimento da imagem da empresa como sustentável e inovadora.

Portanto, a adoção de tecnologias de manufatura aditiva e práticas sustentáveis é essencial para o sucesso a longo prazo das empresas, posicionando-as na vanguarda tecnológica e contribuindo para um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J. M. 2022. Os polímeros (plásticos) e a reciclagem. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2022/12/23/os-polimeros-plasticos-e-a-reciclagem>. Acesso: 01out.24.
- BRASIL. 2010. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jLnBfyWrW7MPPVZSz46B8JG/>. Acesso em: 15 set. 2024.
- CASTILHO, R. Polímeros: o que são, características e tipos. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/polimeros/>. Acesso em: 14 de set. 2024.
- COMPOSTOS. O que são polímeros e qual o seu papel na indústria. Disponível em: <https://www.compostos.com.br/blog/o-que-sao-polimeros>. Acesso em: 14 de set. 2024.
- DE CARVALHO, J.; VOLPATO, N. (Org). Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1ª ed. São Paulo/SP: Blucher Editora, 2017. Disponível em: https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/9788521211501-amostra.pdf. Acesso: 14set.2024.
- DE MOURA, R. A.; OLIVEIRA, M. R.; SILVA, M. B. 2023. Neurociência para leigos: o papel do hipocampo no aprendizado e na memorização consolidada. ODS n. 04. Oct 2023. XII CICTED: Congr. Intern. Ciência, Tecn. e Desenvolvimento. Unitau. DOI:[10.29327/XIICICTED23.734223](https://doi.org/10.29327/XIICICTED23.734223)
- FIA. Business School. Indústria 4.0: o que é, consequências, impactos positivos e negativos. 2020. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/industria-4-0/>. Acesso em: 23 de ago. 2024.
- FIGUEIREDO, M. 2022. Avanço na reciclagem de plástico. Disponível em: <https://www.manufaturadigital.com/avanco-na-reciclagem-de-plastico>. Acesso em: 11 de set. 2024.
- GOUVEA, M. O que é manufatura aditiva e como ela pode beneficiar sua empresa. Disponível em: <https://produza.ind.br/tecnologia/o-que-e-manufatura-aditiva-e-como-ela-pode-beneficiar-sua-empresa/>. Acesso em: 14 set. 2024.
- GOUVEIA, L. 1999. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/YgnDNBgW633Y8nLF5pqLxc/>. Acesso em: 01out24.
- KLUNDER, H.; ADEDIPE, A. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/YgnDNBgW633Y8nLF5pqLxc/>. Acesso em: 01out.2024.
- MELO, V. 2024. Indústria 4.0: O que é, conceitos e impactos no Brasil. <https://geofusion.com.br/blog/industria-40-brasil/>. Acesso em: 14 de set. 2024.
- MOURA, R. A.; ANJOS, G. F. C.; MONTEIRO, M. C.; GOUSSAIN, B. G. C. S. Delineamento de experimentos (DoE) e neuroergonomia aplicados em processos fabris. Revista Sodebras. Vol. 19. n° 221, pp 31-36. 2024. ISSN 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/stz4kf04>
- MOURA, R. A.; JESUS, N. M. R.; SOUZA, R. S. Antropometria e ergonomia como ferramentas de vanguarda produtivas nas indústrias do futuro. Revista Sodebras. Vol. 14. Ed.157. 2019, p.109-112. ISSN. 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.157.109>
- MOURA, R. A.; MOURA, M. L. S. 2019. Aplicação da engenharia estrutural segura na montagem do veículo “baja” para aprendizado acadêmico e aprimoramento profissional. Sodebras. v14. n12, pp 31-36. 2019. ISSN 1809-3957. DOI: [10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31](https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31)
- OLIVEIRA, M. R. DE, MOURA, R. A. DE., & SILVA, M. B. (2023). Priming memory and its important role in learning and social and professional behavior of individuals. *Concilium*, 23(21), 1–10. <https://doi.org/10.53660/CLM-2382-23S10>
- OMS. 2010. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Disponível em: <https://www.scielo>.

br/j/ea/a/YgnDNBgW633Y8nflF5pqLxc/. Acesso em: 20 set. 2024.

PEREIRA, R. Manufatura Aditiva: o que é, como funciona e aplicações. Disponível em: <https://www.ngi.com.br/blog/manufatura-aditiva/>. Acesso em: 14 de set. 2024.

PORTELA, S. O que é impressão 3D? Conheça a tecnologia de impressoras 3D. Disponível em: <https://3dlab.com.br/impressao-3d-o-que-e/>. Acesso em: 15 de set. 2024.

RODRIGUES, T. T. 2018. Polímeros nas Indústrias de Embalagens. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24082/1/Pol%C3%AdmerosInd%C3%BastriasEmbalagens.pdf>. Acesso em: 02set.2024.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S.; Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/pygZmYqm3yhzqVTzhwXvrNb/>. Acesso em: 02 de set. 2024.

SCAGLIA, L. O Papel da Sustentabilidade na Indústria do Futuro. Disponível em: <https://www.in4.com.br/sustentabilidade-na-industria/>. Acesso em: 24 de ago. 2024.

SOUSA, V. J. D E, RICETTO, M. R. S., MOURA, R. A. DE, OLIVEIRA, M. R. DE, & SILVA, M. B. (2024). Analysis of Management Practices in A Non-Governmental Organization. Revista De Gestão Social E Ambiental, 18(11), e09646. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-045>

SOUZA, P. H. M.; JUNIOR, S. J. C.; NETO, G. G. D. Indústria 4.0: contribuições para setor produtivo moderno. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323380429_industria_40_contribuicoes_para_setor_produtivo_moderno. acesso em: 02 de set. 2024.

SOUZA, R. Sustentabilidade. 2018. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/educacao/sustentabilidade.htm>. Acesso em: 14 de set. 2024.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI M. A. et al. 2004. Tecnologia da reciclagem de polímeros. Vol. 28, Campinas/SP: Quim. Nova, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/btlknhwgnpsj4swwjglb49l/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 02set.2024.

TOTVS. Indústria 4.0: pilares, tecnologias, impactos e desafios. 2023. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>. Acesso em: 14 de set. 2024.

TOTVS. Manufatura aditiva: o que é e como ela transforma a indústria. 2022a. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/manufatura-aditiva/>. Acesso em: 14 de set. 2024.

TOTVS. Sustentabilidade Industrial. 2022b. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-para-assinatura-de-documentos/sustentabilidade-industrial/>. Acesso em: 14 de set. 2024.

VELLOSO, L.; WILSON, D. 2008. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jLnBfyWrW7MPPVZSz46B8JG/>. Acesso: 01set24.

WORRELL, W.; VESILIND, P. A. 2011. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jLnBfyWrW7MPPVZSz46B8JG/>. Acesso em: 01set.2024.

“ O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade dos Autores.”