

Projeto mecânico para redução de descartes de lã na indústria

Mechanical design project for reducing wool waste in industry

Leonardo de Oliveira Bernardes Silva¹

Julia Eduarda Guerra Gregatti²

Pedro Henrique dos Santos³

Rafael Massafera Gonçalves⁴

Ryan Gabriel Mendes da Silva⁵

Professora orientadora: Silvana Júlia da Silveira Diniz

Resumo

O presente trabalho aborda o problema do descarte excessivo de resíduos de lã de rocha gerados no processo de corte automático em uma indústria de Fornos industriais. O objetivo geral consiste em desenvolver e implementar uma solução tecnológica viável para o reaproveitamento desses retalhos, reinserindo-os no ciclo produtivo por meio da trituração. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, que utilizou ferramentas da qualidade como Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês, 5W2H e brainstorming para identificar as causas do desperdício. A solução proposta envolveu a adaptação de um moinho industrial de farinha existente na empresa, com fabricação de peças específicas para adaptação ao mesmo, instalação de sistema de intertravamento por sensor magnético e vedação adequada. Os resultados demonstraram a viabilidade técnica e operacional do equipamento, podendo alcançar o reaproveitamento médio de 28 kg de resíduos por dia, o que representa uma redução anual estimada em aproximadamente 7.000 kg de material descartado. Essa iniciativa promove a economia circular, reduz custos operacionais e minimiza os impactos ambientais, contribuindo para a sustentabilidade industrial.

Palavras-chave: Economia circular; Lã de rocha; Moinho adaptado; Reaproveitamento de resíduos; Sustentabilidade industrial.

Abstract

This study addresses the problem of excessive disposal of rock wool waste generated during the automatic cutting process in an industrial furnace manufacturing company. The main objective is to develop and implement a feasible technological solution for reusing these offcuts by reintroducing them into the production cycle through a grinding process. The research is characterized as an applied case study and employed quality management tools

¹ leonardooliver01@icloud.com

² Graduação em Engenharia Mecânica – UNA (POUSO ALEGRE). juedugregetti@gmail.com

³ Graduação em Engenharia Mecânica – UNA (POUSO ALEGRE). pedroo-santoos@hotmail.com

⁴ rafaelmine8@gmail.com

⁵ Graduação em Engenharia Mecânica – UNA (POUSO ALEGRE). eyanmendes002006@gmail.com

such as the Ishikawa Diagram, the 5 Whys, 5W2H, and brainstorming to identify the root causes of waste generation. The proposed solution involved adapting an existing industrial flour mill available within the company, manufacturing specific components for its modification, installing an interlocking system with a magnetic sensor, and providing appropriate sealing. The results demonstrated the technical and operational feasibility of the equipment, enabling the recovery of an average of 28 kg of waste per day, which represents an estimated annual reduction of approximately 7,000 kg of discarded material. This initiative promotes circular economy principles, reduces operational costs, and minimizes environmental impacts, thereby contributing to industrial sustainability.

Keywords: Circular economy; Rock wool; Adapted mill; Waste recovery; Industrial sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A crescente industrialização e a produção em larga escala têm intensificado significativamente a geração de resíduos sólidos, tornando a gestão desses materiais um dos principais desafios contemporâneos. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, a gestão adequada de resíduos deve priorizar a não geração, redução, reutilização e reciclagem, com vistas à minimização dos impactos ambientais (BRASIL, 2010). Nesse contexto, os processos industriais que utilizam materiais isolantes, como a lã de rocha, destacam-se pela elevada geração de retalhos durante as etapas de corte, conformação e acabamento.

Esses resíduos, em sua maioria, apresentam geometria irregular, perda de coesão e falta de padronização dimensional, o que dificulta sua reutilização direta sem processamento prévio. Conforme Bové (2006), os resíduos industriais representam um dos maiores desafios para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Como consequência, grande parte desse material é descartada, gerando impactos ambientais negativos e aumento dos custos operacionais devido ao desperdício de matéria-prima.

A problemática do descarte excessivo de resíduos insere-se no contexto mais amplo da busca pela sustentabilidade e pela otimização de recursos naturais. Segundo Leite (2017), a adoção de práticas sustentáveis na indústria está diretamente associada à eficiência produtiva e à implementação da economia circular. Diante dessa realidade, surge o seguinte problema de pesquisa: Como reduzir o desperdício de resíduos de lã de rocha gerados no corte automático por meio de uma solução técnica, prática e economicamente viável?

A Lã de Rocha é derivada de materiais de depósitos vulcânicos como rochas basálticas e fibras minerais. Esse material é um isolante térmico e é caracterizado por sua resistência, este produto garante conforto, segurança e aumenta o rendimento dos equipamentos industriais pois gera economia de energia e aumento da produtividade.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver e implementar uma solução tecnológica para o reaproveitamento dos retalhos de lã de rocha gerados no processo de corte automático, viabilizando sua reinserção no ciclo produtivo da empresa. Como objetivos específicos, busca-se: Analisar o processo atual de geração e descarte de resíduos de lã de rocha; identificar as principais causas do desperdício por meio de ferramentas da qualidade; projetar e desenvolver um sistema de trituração dos resíduos através da adaptação de um moinho industrial existente; avaliar a viabilidade técnica, operacional e econômica da solução proposta.

Este estudo justifica-se pela necessidade de conciliar desenvolvimento industrial com responsabilidade ambiental, promovendo a economia de matéria-prima e a redução dos impactos gerados pelo descarte inadequado. Além disso, a proposição de soluções de baixo custo e alto impacto prático pode contribuir para a melhoria contínua dos processos produtivos e para a conscientização ambiental no setor industrial.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar uma solução tecnológica para o reaproveitamento dos retalhos de lã de rocha gerados no processo de corte automático, viabilizando sua reinserção no ciclo produtivo da empresa. Como objetivos específicos, busca-se: Analisar o processo atual de geração e descarte de resíduos de lã de rocha; identificar as principais causas do desperdício por meio de ferramentas da qualidade; projetar e desenvolver um sistema de trituração dos resíduos através da adaptação de um moinho industrial existente; avaliar a viabilidade técnica e econômica da solução proposta.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reaproveitamento de resíduos

A crescente industrialização e o avanço dos processos produtivos têm intensificado a geração de resíduos sólidos, tornando a gestão desses materiais um dos principais desafios contemporâneos. No contexto industrial, especialmente em setores que utilizam materiais isolantes como a lã de rocha, observa-se significativa geração de resíduos provenientes de cortes, ajustes e conformações. Esses resíduos, muitas vezes descartados inadequadamente, contribuem para impactos ambientais negativos e elevação dos custos operacionais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2018) estabelece que a destinação de resíduos industriais deve priorizar práticas que impactos ambientais e promovam a eficiência no uso de recursos. Nesse sentido, o reaproveitamento de resíduos industriais configura-se como estratégia fundamental para a economia circular, conceito que propõe a reinserção de materiais no ciclo produtivo, reduzindo a extração de novas matérias-primas.

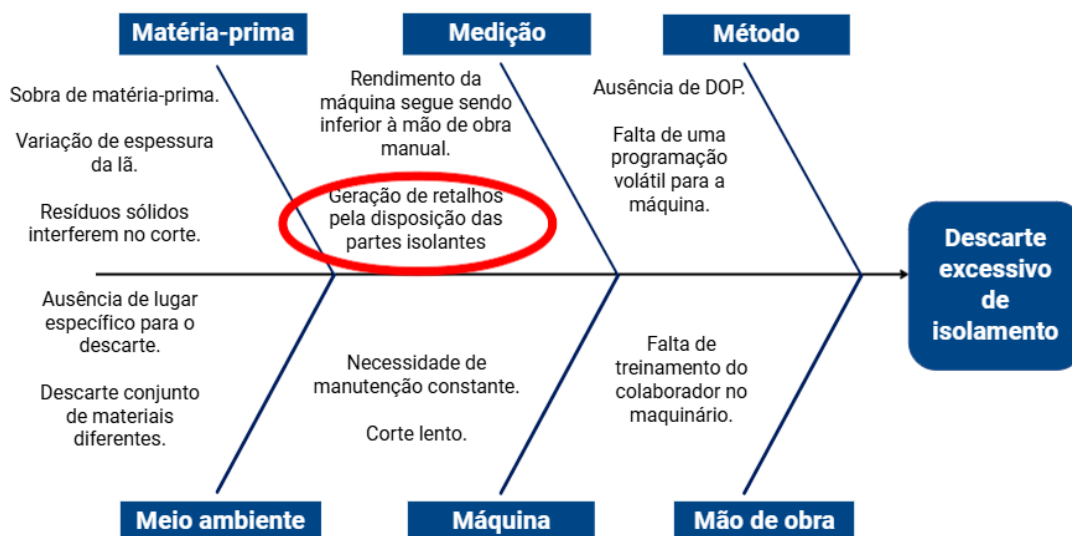
Autores como Bové (2006) e Neves et al. (2010) destacam que a sustentabilidade industrial depende da capacidade das empresas em inovar seus processos, buscando soluções tecnológicas que reduzam desperdícios. A reutilização de resíduos de lã de rocha apresenta-se como alternativa viável, desde que sejam superadas as limitações técnicas relacionadas à sua forma e composição.

O reaproveitamento de resíduos industriais depende da aplicação de tecnologias adequadas para o processamento dos materiais. No caso da lã de rocha, uma das alternativas mais viáveis é a trituração dos resíduos, transformando-os em flocos reutilizáveis como material isolante.

A análise de viabilidade técnica e econômica é essencial para validar a implementação de soluções industriais. No reaproveitamento da lã de rocha, os resultados indicam ganhos expressivos tanto ambientais quanto econômicos

Segundo Miguel (2006) o Diagrama de Ishikawa consiste em uma ferramenta em uma forma gráfica usada como análise para representar fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito). Também é denominado Diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou Diagrama Espinha de Peixe, devido à sua forma. Para o desenvolvimento do projeto foi estruturado com os seguintes itens conforme a Figura 1.

**Figura 1- Diagrama de causa e efeito aplicado ao descarte de resíduos.
Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

2.2 Processos produtivos e geração de resíduos

Nos processos industriais automatizados, a busca por eficiência e padronização nem sempre elimina a geração de resíduos. Mesmo com a otimização do plano de corte, ainda há produção significativa de retalhos de lâ de rocha, principalmente devido à geometria das peças e às limitações dos equipamentos.

A análise do processo produtivo pode ser realizada por meio de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa (causa e efeito), que permite identificar as principais causas do problema. No caso estudado, fatores relacionados à máquina, matéria-prima, método, mão de obra e meio ambiente influenciam diretamente o desperdício de material.

Entre as principais causas identificadas destacam-se a variação de espessura da lâ, a ausência de padronização no descarte, a falta de treinamento operacional e as limitações das máquinas. A inexistência de um processo estruturado para reaproveitamento contribui para o acúmulo e descarte inadequado desses materiais.

A técnica dos “5 Porquês” foi aplicada conforme o Quadro 1 para identificar a causa raiz do problema. A análise revelou que o descarte excessivo decorre principalmente da ausência de um sistema eficiente de reaproveitamento, reforçando a necessidade de intervenções no processo produtivo.

Quadro 1: 5W2H

5W2H:

WHAT	WHY	WHEN	WHO	WHERE	HOW
PESAR RETALHOS RESIDUAIS GERADOS NOS CORTES	REDUZIR O TEMPO AJUSTE DA MONTAGEM DO LOCK	Fevereiro/25	COLABORADORES DESTINADOS DA EQUIPE.	SETOR DE APLICAÇÃO	RELÓGIO
LEVANTAR SOLUÇÕES DE MERCADO PARA	MELHORAR ERGONOMIA DOS OPERADORES	Fevereiro/25	COLABORADORES DESTINADOS DA EQUIPE.	SETOR DE APLICAÇÃO	QUESTIONAMENTO
LEVANTAR CUSTO DA LÃ DE ROCHA EM FLOCOS	TER A BASE DE GASTOS A PARTIR DO DESCARTE.	Março/25	COLABORADORES DESTINADOS DA EQUIPE.	SETOR DE APLICAÇÃO	ANOTAÇÃO
ADAPTAR MOINHO MF 80 PARA FUNCIONAR COMO TRITURADOR DE LÃ	REDUZIR O TEMPO AJUSTE DA MONTAGEM DO LOCK	Março/25	PROJETISTA MECÂNICO/TORNEIRO MECÂNICO.	ENGENHARIA DE PRODUTOS / MELHORIA CONTÍNUA	SOFTWARES DE MODELAGEM CAD, CRIAÇÃO DAS PEÇAS/TORNO, FRESA E SOLDA/
LEVANTAR ECONOMIA GERADA PELO PROJETO	REGISTRAR A REDUÇÃO DO TEMPO DE TESTE PARA FABRICAÇÃO DE FLOCOS.	Março/Abril/25	COLABORADORES DESTINADOS DA EQUIPE.	SETOR DE APLICAÇÃO	RELÓGIO

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, com abordagem predominantemente qualitativa complementada por análise quantitativa dos resultados. Trata-se de um trabalho de natureza tecnológica, voltado à solução de um problema real identificado em ambiente industrial: o descarte excessivo de resíduos de lâ de rocha gerados no processo de corte automático.

A modelagem estrutural do projeto foi realizada no software *SolidWorks* Estrutural, versão 2020/2021, licença educacional, disponível na universidade Una (Pouso Alegre). O material definido para a simulação foi o aço inoxidável AISI 430 (espessura 1,5 mm), para fins de estudo das ferramentas de simulação.

Na primeira etapa, foi o diagnóstico do problema: realização de observação direta do processo produtivo de corte automático da lâ de rocha, mapeamento do fluxo de materiais e quantificação dos resíduos gerados diariamente.

A segunda etapa, apresentou-se análise das causas: aplicação de ferramentas de gestão da qualidade para identificação das causas do desperdício.

A terceira etapa, mostrou-se o desenvolvimento da solução: projeto e adaptação de um moinho industrial de farinha, existente na empresa, para processamento dos resíduos de lâ de rocha.

A quarta etapa, verificou-se a implementação e testes: fabricação de peças de adaptação, montagem do sistema de segurança e realização de testes operacionais.

Na quinta etapa, desenvolveu-se avaliação dos resultados: mensuração da quantidade de material reaproveitado, análise de viabilidade técnica, operacional e econômica, e registro fotográfico de todo o processo. Para o desenvolvimento da metodologia foi estruturado com os seguintes itens conforme a Quadro 2.

Quadro 2: Etapas da metodologia.

Etapa	Descrição da Atividade	Objetivo
1ª Etapa	Observação direta do processo produtivo de corte automático da lâ de rocha, mapeamento do fluxo de materiais e resíduos gerados.	Identificar os pontos de desperdício e mensurar a geração de resíduos no processo produtivo.
2ª Etapa	Aplicação de ferramentas de gestão da qualidade para identificação das causas do desperdício	Determinar os fatores responsáveis pela geração excessiva de resíduos.
3ª Etapa	Projeto e adaptação de um moinho industrial de farinha, existente na empresa, para processamento dos resíduos de lâ de rocha.	Desenvolver uma alternativa técnica para reaproveitamento dos resíduos gerados.
4ª Etapa	Fabricação de peças de adaptação, montagem do sistema de segurança e realização de testes.	Validar o funcionamento e a segurança do sistema adaptado.
5ª Etapa	Mensuração da quantidade de material reaproveitado, análise de viabilidade técnica, operacional.	Verificar a eficiência da solução implementada e sua viabilidade de aplicação industrial.

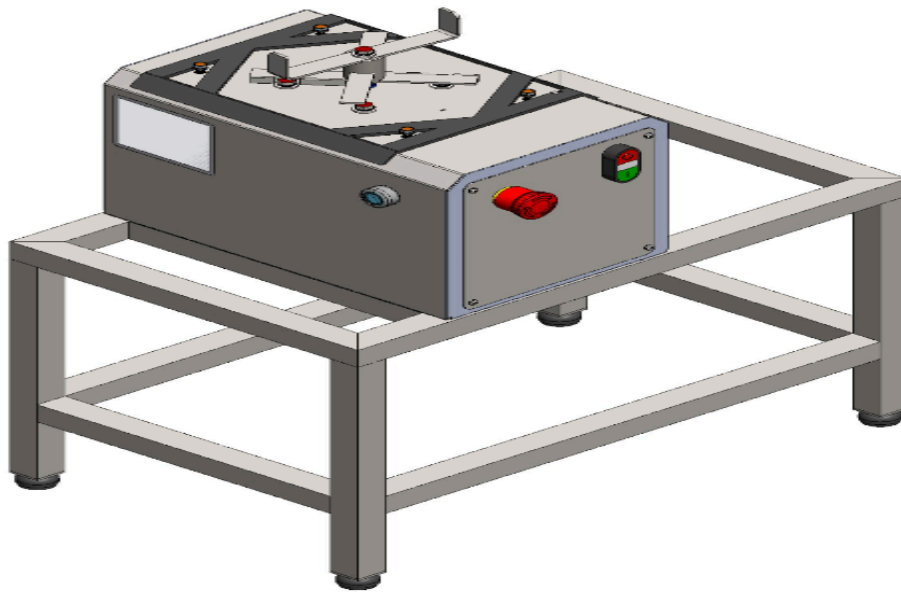
Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Moinho industrial de farinha é um equipamento industrial de alta rotação projetado originalmente para triturar e moer produtos secos e quebradiços, como pães para farinha de rosca. A sua adaptação para a moagem de lâ ou fibras têxteis envolve desafios técnicos que limitam seu uso sem alterações.

No presente projeto, optou-se pela adaptação de um moinho já existente na empresa, demonstrando a viabilidade de reaproveitamento de recursos internos, a fim de ser algo rápido e eficiente para que possa ser utilizada sua estrutura como base, não tendo que ser produzido um equipamento do zero, sendo algo mais fácil para adaptação, conforme a Figura 2.

Figura 2. Parte aproveitada do moinho utilizada como referência, considerando apenas a estrutura e o sistema de controle.

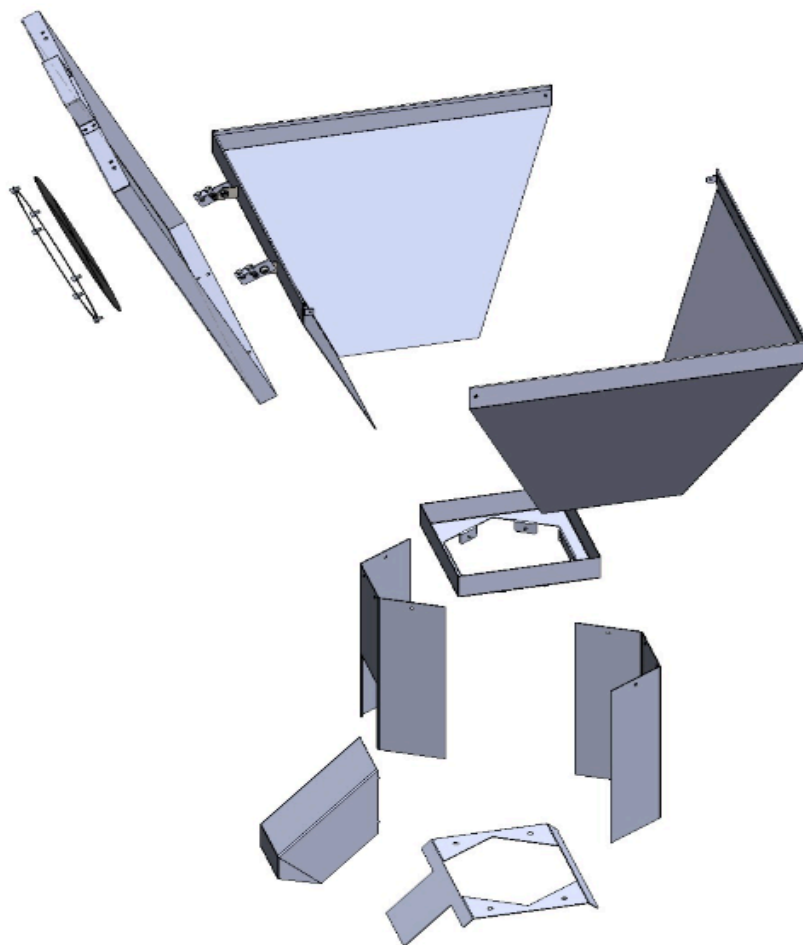


Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4.1 Modelagem do Equipamento.

Com base nos dados coletados, iniciou-se a modelagem do moinho utilizando softwares de design 3D, como o *SolidWorks*. Na Figura 3, é possível observar a criação do modelo completo do equipamento, incluindo componentes como chapas, vedações e sistema de fixação. Simulação de interações mecânicas, como o movimento de abertura e fechamento da tampa do moinho, para verificar a eficiência do sistema de trituração. As simulações permitiram prever ajustes no design antes da fabricação, minimizando custos e melhorando o desempenho.

Figura 3. Peças fabricadas para adaptação no moinho, criando uma função nova para a máquina adaptada



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Na Figura 4, há os materiais para o sistema elétrico e componentes que foram escolhidos com base em critérios de custo, durabilidade e disponibilidade. As principais escolhas incluem: Botão duplo, relé e sensor magnético de segurança.

Figura 4. Lista de componentes elétricos.

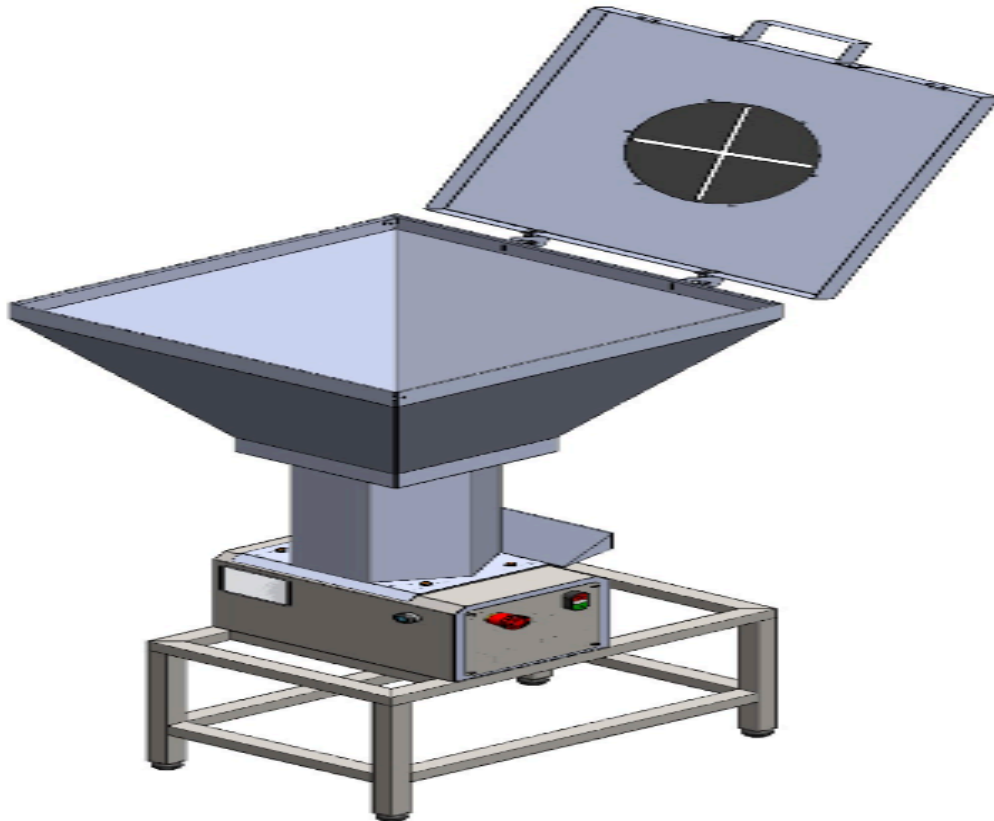
LISTA DE COMPONENTES		
DENOMINAÇÃO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
B0	731708	CHAVE SECCIONADORA LB 116 B40 YR TOPO
M1	731684	MOTOR 1 CV 2P 127/220V MONO 60Hz B14D
F1/F2	730035	FUSÍVEL 2A
T1	730815	TRANSFORMADOR ISOLADO 220V/24V 20WATTS C/ FIOS
BL/BD	732159	BOTÃO DUPLO LIGA/DESLIGA
	732155	BLOCO DE CONTATO SIMPLES 1 NA
	732156	BLOCO DE CONTATO SIMPLES 1 NF
K1/K2	733739	CONTATOR MITSUBISHI 11A/220VCA BOBINA 24 S-T10 AC24V 1B
RLS	732249	RELE DE SEGURANCA CPD 301 +24VCC / 24VAC
BE1	732160	BOTAO DE EMERGENCIA BESG PADRAO CSW-BESG
	732156	BLOCO DE CONTATO SIMPLES 1 NF - 2 PEÇAS
BR	732158	BOTÃO PULSADOR FACEADO AZUL
	732155	BLOCO DE CONTATO SIMPLES 1 NA
	731976	SENSOR MAGNETICO DE SEGURANCA WEG SSM5-30R1PD2A - ROHS
S1	731977	ATUADOR MAGNETICO DE SEGURANCA WEG ASSM5-30RP
	731133	CHAVE FIM DE CURSO LS31M12B11 - CONTATOS:1 NA 1 NF
FC1/FC2	734261	CHICOTE DE COMANDO
CHICOTE	734261	CHICOTE DE COMANDO
BORNE MOLA	732545	PLACA FECHAMENTO BORNE MOLA 10MM2 CINZA ROHS
BORNE FUSÍVEL	732109	BORNE FUSIVEL MOLA 2,5MM2 C/ PLACA FINAL 250 V 10 A - CCA/CSA/UL/KEMA-KEUR
BORNE TERRA	732329	BORNE MOLA 10MM2 TERRA ROHS - CCA/UL/CSA/KEMA-KEUR

LISTA DE COMPONENTES ALTERNATIVOS		
DENOMINAÇÃO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
K1/K2	733306	MINICONTATOR AZ CWC09-01-30D02 CONTATO AUXILIAR NC
K1	731680	MINI-CONTATOR AUXILIAR COM BOBINA EM 24 VCA E 2NA 2NF

Elaborada pelos autores (2026).

A solução proposta envolveu a adaptação completa do moinho com estrutura em aço inoxidável AISI 430, sistema de intertravamento por sensor magnético na tampa superior e vedação em borracha de silicone, garantindo segurança e funcionalidade como mostra a figura 5.

Figura 5. Estrutura final do moinho adaptado para trituração de resíduos de lã de rocha



Elaborada pelos autores (2026).

4.2 Montagem do Projeto

Após todo o dimensionamento, foram fabricadas todas as peças para montagem do moinho na própria indústria com objetivo de validar o projeto e ver possíveis melhorias no sistema acoplado no moinho, para evitar vibrações e segurança no funcionamento do equipamento especialmente para essa aplicação visando compactar o equipamento conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6. Proposta de reaproveitamento da lã de rocha.



Elaborada pelos autores (2026).

Atualmente, o conhecimento sobre reaproveitamento de resíduos industriais indica uma crescente adoção de práticas sustentáveis e de tecnologias voltadas à economia circular. Estudos demonstram que empresas que investem nesse modelo alcançam maior eficiência operacional, redução de custos e diminuição dos impactos ambientais.

No setor de materiais isolantes, persistem desafios relacionados à padronização dos processos de reaproveitamento e à manutenção das propriedades físicas após o processamento. Os resíduos de lã de rocha gerados no corte automático apresentam formatos irregulares, exigindo etapas adicionais como a trituração.

O reaproveitamento de materiais isolantes contribui diretamente para a redução de custos. Na Figura 7, é possível observar o funcionamento do equipamento utilizado para a verificação dos dados do projeto. Os resultados obtidos indicam que a reutilização de aproximadamente 28 kg diários de resíduos pode gerar uma economia anual significativa, tanto na redução do volume descartado quanto nos custos financeiros envolvidos.

Figura 7 – Reaproveitamento atualmente.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Para a realização dos cálculos, foi considerada a média de resíduos descartados em um dia de operação, multiplicada pela quantidade de dias trabalhados ao longo do ano. Em condições anuais, estima-se uma redução de aproximadamente 7.000 kg de resíduos. Considerando o custo de R\$ 3,46 por quilograma de lã de rocha, a economia anual estimada é de cerca de R\$ 24.220,00.

Ressalta-se que esses valores são preliminares, uma vez que o projeto ainda se encontra em fase de avaliação e aprovação. Caso sua aplicação definitiva seja validada, espera-se alcançar a redução estimada de desperdícios e custos apresentados.

Não houve participação de seres humanos na pesquisa, portanto não se aplicaram os procedimentos previstos na Resolução CNS nº 510/2016. Todos os procedimentos realizados seguiram as normas de segurança industrial vigentes na empresa.

CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento deste trabalho, foi possível comprovar a viabilidade técnica inicial da adaptação do moinho industrial para o processamento dos resíduos de lã de rocha gerados no processo de corte automático. Os testes realizados demonstraram que o equipamento apresentou desempenho satisfatório, triturando os retalhos conforme esperado e transformando o material em uma configuração semelhante à lã em flocos utilizada atualmente no processo produtivo.

Os resultados obtidos evidenciam que a solução proposta possui potencial para o reaproveitamento dos aproximadamente 28 kg diários de resíduos atualmente descartados, representando uma alternativa promissora para redução de desperdícios e melhor aproveitamento da matéria-prima. Caso sua aplicação seja validada e implementada oficialmente, a proposta poderá proporcionar benefícios significativos, como redução de

custos operacionais, diminuição do descarte industrial, melhoria da organização do processo produtivo e fortalecimento das práticas sustentáveis adotadas pela empresa.

Com base em uma estimativa realizada a partir da média diária de resíduos descartados no processo produtivo, projeta-se que, em uma possível implementação definitiva da solução, o reaproveitamento anual poderá alcançar aproximadamente 7.000 kg de lã de rocha. Considerando o custo médio de R\$ 3,46 por quilograma da lã em flocos utilizada atualmente pela empresa, estima-se um potencial redução de custos próxima de R\$ 24.220,00 anuais. Ressalta-se, entretanto, que esses valores possuem caráter preliminar e estimativo, uma vez que a solução ainda não foi oficialmente implementada e depende de validações técnicas complementares para sua aplicação definitiva.

Entretanto, apesar do funcionamento satisfatório nos testes iniciais, a implementação definitiva da solução ainda depende de validações complementares. Torna-se necessária a realização de testes específicos em todos os modelos de fornos que utilizam lã em flocos, a fim de verificar se a substituição pelo material reaproveitado não comprometerá o desempenho térmico, a eficiência de isolamento e a qualidade final dos equipamentos produzidos.

Além disso, foram identificadas oportunidades de melhoria relacionadas à segurança e ergonomia operacional, principalmente no sistema de alimentação e descarga do equipamento.

A necessidade de adequação estrutural da base, melhoria na entrada do material e desenvolvimento de um sistema de saída que elimine a necessidade de apoio manual do colaborador são pontos fundamentais para garantir maior segurança, conforto operacional e eficiência no processo, considerando também os requisitos previstos nas normas regulamentadoras aplicáveis, especialmente a NR-12, relacionada à segurança em máquinas e equipamentos, e a NR-17, voltada à ergonomia no ambiente de trabalho.

Conclui-se, portanto, que o projeto atingiu seu objetivo principal ao demonstrar a possibilidade técnica de transformação dos resíduos de lã de rocha em material reutilizável, estabelecendo uma base consistente para futuras melhorias e validações. Como trabalhos futuros, recomenda-se a realização de testes de desempenho térmico, o aprimoramento ergonômico e estrutural do equipamento e sua integração definitiva à linha produtiva, viabilizando a consolidação do processo de reaproveitamento como prática permanente na empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 12100: segurança de máquinas — princípios gerais de projeto — apreciação e redução de riscos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: resíduos sólidos — classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BOVÉ, R. **Gestão de resíduos industriais.** São Paulo, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 15 maio 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma regulamentadora n. 17 (NR-17): ergonomia**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma regulamentadora n. 12 (NR-12): segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022.

IIDA, Itiro; BUARQUE, Lia. **Ergonomia: projeto e produção**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: sustentabilidade e competitividade**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2017.

MIGUEL, Paulo. **Qualidade: Enfoques e Ferramentas**. 1. Ed. Artliber, 2001.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.