

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
MATHEUS FONSECA MORAIS

**OTIMIZAÇÃO NO USO DE MATÉRIA-PRIMA NA INJEÇÃO PLÁSTICA: processo
de reciclagem mecânica do polipropileno**

Varginha
2022

MATHEUS FONSECA MORAIS

**OTIMIZAÇÃO NO USO DE MATÉRIA-PRIMA NA INJEÇÃO PLÁSTICA: processo
de reciclagem mecânica do polipropileno**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira.

**Varginha
2022**

MATHEUS FONSECA MORAIS

**OTIMIZAÇÃO NO USO DE MATÉRIA-PRIMA NA INJEÇÃO PLÁSTICA: processo
de reciclagem mecânica do polipropileno**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ____/____/____

Prof.

Prof.

Prof.

Obs.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que me acompanharam, trilharam, e me auxiliaram de alguma forma, diretamente e indiretamente, tendo todo o esforço e dedicação reconhecidos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, mas também pela motivação de poder contribuir cada vez mais em crescimento pessoal e melhorar em âmbitos que nos rodeiam no dia a dia.

“Não espere por uma crise para descobrir o que é importante em sua vida.”

Platão

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma redução de custo através da explicação do processo de reciclagem dos materiais refugados e não mais utilizados na linha produtiva como forma de colaborar com o meio ambiente, reduzindo a criação de lixos industriais e reduzir custos com a compra de matérias-primas virgens. Para viabilizar o projeto foi levantado um embasamento teórico voltado a injeção plástica, seus defeitos, e seus meios e métodos de reciclagem dos materiais. O objetivo de mostrar o processo de reciclagem, foram alcançadas, e foi apontada qual a economia anual gerada através da aplicabilidade da compostagem de material reciclado ao material virgem em porcentagens que não afete as propriedades do material fisicamente e esteticamente. Os benefícios ocasionados pela aplicabilidade do método de reciclagem mecânica, proporcionam uma ampla visão para iniciar estudos com base em projetos futuros que contribuam ainda mais com necessidades fabris e ambientais.

Palavras chave: Injeção plástica. Falhas no processo de injeção. Normas regulamentadoras para funcionamento de injetoras horizontais. Reciclagem de polímeros. Polipropileno.

ABSTRACT

This work aims to present a cost reduction through the explanation of the recycling process of waste materials and no longer used in the production line as a way of collaborating with the environment, reducing the creation of industrial waste and reducing costs with the purchase of materials. virgin cousins. To make the project viable, a theoretical basis was raised focused on plastic injection, its defects, and its means and methods of recycling materials. The objective of showing the recycling process was achieved, and it was pointed out the annual savings generated through the applicability of composting recycled material to virgin material in percentages that do not affect the properties of the material physically and aesthetically. The benefits caused by the applicability of the mechanical recycling method, provide a broad vision to start studies based on future projects that contribute even more to manufacturing and environmental needs.

Keywords: *Plastic injection. Faults in the injection process. Regulatory norms for the operation of horizontal injection molding machines. Polymer recycling. Polypropylene.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação dos componentes de uma injetora horizontal.....	17
Figura 2 - Componentes da unidade de fechamento.....	18
Figura 3 - Unidade de fechamento em destaque.....	19
Figura 4 - Colunas guias em destaque na unidade de fechamento	19
Figura 5 - Unidade de injeção de uma máquina injetora	21
Figura 6 - Fluxograma de reciclagem dos polímeros	28
Figura 7 – Polipropileno em formato granulado	29
Figura 8 - Galhos separados para reciclagem.....	32
Figura 9 - Máquina granuladora mecânica	33
Figura 10 - Polipropileno moído	34
Figura 11 - Misturador industrial	35
Figura 12 - Relatório metrológico da matéria prima virgem.....	37
Figura 13 - Relatório metrológico com a adição de 20% reciclado	38

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Os materiais plásticos	14
2.1.1 Os polímeros mais utilizados na indústria automobilística	15
2.2 Funcionamento e ciclo de uma máquina injetora horizontal	17
2.2.1 Unidade de fechamento	17
2.2.2 Unidade de injeção	20
2.3 Normas aplicáveis para as injetoras	21
2.3.1 Análise do Anexo IX da NR 12	21
2.3.2 Análise da NBR 13536	22
2.4 A geração de refugos relacionados a problemas durante o processo de injeção	23
2.4.1 Injeções incompletas	24
2.4.2 Manchas de queimado	24
2.4.3 Chupado ou bolhas	25
2.4.4 Marcas de junção	25
2.4.5 Rebarbas na peça	26
2.4.6 Deformação ou contração excessiva	26
2.5 Reciclagem dos materiais poliméricos	26
2.6.1 Refugos	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 Escolha da matéria-prima	29
3.2 Reprocessamento	30
3.2.1 Peças não conformes	30
3.2.2 Galhos	31
3.3 Reciclagem	31
3.3.1 Separação dos polímeros	31
3.3.2 Moagem	32
3.3.3 Lavagem e secagem	34
3.3.4 Compostagem dos materiais	34
4 RESULTADOS	37
5 FUTUROS PROJETOS	40
6 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O processo de injeção de termoplásticos é o processo predominante e mais comum para a fabricação em massa de peças plásticas atualmente. A execução da moldagem por injeção envolve basicamente plastificar o material em um cilindro aquecido, depois injetá-lo em um molde, onde cura e toma sua forma final. A peça moldada então é retirada do molde por meio de um sistema de extração. É um processo dinâmico e cíclico, que pode ser dividido em algumas etapas sucessivas.

As peças submetidas ao processo de injeção são fabricadas de diversos tipos de polímeros plásticos e submetidas a diversos tipos de pressões e temperaturas. O processo pode gerar peças defeituosas ou perda de materiais que se denominam refugos que podem ser descartados, reciclados ou vendidos posteriormente.

O desenvolvimento deste projeto está relacionado ao estudo básico e objetivo dos polímeros termoplásticos, bem como suas propriedades; ciclo e funcionamento de uma máquina injetora; ações para reduzir desperdícios de matérias-primas e meios de reaproveitamento e reciclagem, visando ser um grande aliado na produtividade do produto aumentando a lucratividade das empresas. O conhecimento, desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias e o saber do poder de reciclabilidade, é de suma importância para a preservação do planeta.

O constante aumento e flutuações dos preços do petróleo, e a variação da cotação do dólar, pressionam o aumento do valor das resinas plásticas, obrigando as empresas a buscarem recursos para contornar tais despesas, através do processo de separação e o método de reciclagem de peças plásticas a fim de recuperar o material plástico sem que comprometa a qualidade final dos produtos (MICHAELI, 1995).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de injeção termoplástica é hoje o principal e mais usual processo de fabricação de peças plásticas em larga escala. A execução da moldagem por injeção consiste essencialmente na plastificação do material em um cilindro aquecido e sua consequente injeção para o interior de um molde, onde se solidificará e tomará a forma final (MICHAELI, 1995).

2.1 Os materiais plásticos

A matéria-prima dos polímeros é denominada de monômero (monômero é uma pequena molécula composta por um único mero, que pode ligar-se a outros monômeros formando moléculas maiores) e seus insumos são principalmente provenientes do petróleo e gás natural, contudo os plásticos têm algo em comum, possuem longas cadeias de moléculas chamadas macromoléculas, cadeias que possuem vários elementos individuais de monômeros, e devido ao agrupamento dessas cadeias, o plástico é descrito como um polímero (MICHAELI, 1995).

De acordo com Michaeli (1995) a denominação plástica não se refere a um único material, a palavra se remete a diversos materiais com composição, qualidade e estrutura diferentes. Com tamanha variedade de qualidade, frequentemente substituem materiais tradicionais como a madeira ou o metal. São materiais de construção leves, em todas as formas mais leves que metais e cerâmicas, e alguns plásticos possuem menor densidade do que a água, podendo até mesmo flutuar.

Os plásticos são deformados plasticamente por meio da manufatura sob determinadas condições, de pressão e temperatura e são classificados de fácil processo porque sua temperatura de processamento inicia em 250°C e pode chegar até 450°C em casos especiais. A baixa temperatura de processamento também possibilita a introdução de diversos aditivos como corantes que permitem a coloração artificial do material e as cargas que podem ser aditivos inorgânicos e orgânicos. As cargas inorgânicas são incrementadas em forma de pó e areia, alterando as características de elasticidade, resistência à compressão; as cargas orgânicas como fibra de tecidos ou tiras de celulose elevam a tenacidade (HARADA; WIEBECK, 2005).

Os plásticos possuem vantagens técnicas comparados a outros materiais. As vantagens Walter Michaeli (1995) relacionam-se como: baixa condutibilidade térmica e elétrica; baixa

densidade; menor suscetibilidade à corrosão que nos metais e grande parte dos plásticos possuem maior flexibilidade.

Segundo Trombini (2004), os plásticos podem ser divididos em dois grupos, materiais termofixos e materiais termoplásticos. A moldagem desses materiais requer calor e pressão. Quando os termofixos são aquecidos pela primeira vez, esses materiais se tornam macios e plásticos, passando por uma transformação química e endurecimento. Ao atingirem essa dureza, permanecerão neste estado e, mesmo que sejam reaquecidos, não amolecerão. De um modo geral, ao contrário dos termofixos, os termoplásticos podem ser reprocessados em máquinas convencionais usadas para moldagem por injeção, moldagem por sopro, moldagem por sopro conjugado, moldagem a vácuo e moldagem por extrusão.

2.1.1 Os polímeros mais utilizados na indústria automobilística

Conforme cita o estudo de Hemais (2003), os materiais poliméricos apresentam altos indicadores de confiabilidade e muitas vantagens em comparação com os materiais mais tradicionais, substituindo materiais como aço, alumínio, e até o próprio vidro. Materiais poliméricos, além de permitirem maior flexibilidade que madeira e o ferro fundido e baixa densidade, ocasionam projetos mais econômicos, adequado para a engenharia automotiva fazendo os automóveis terem uma redução de peso, conseqüentemente reduzindo o consumo de combustíveis.

Quadro 01 - Vantagens e desvantagens da utilização de polímeros plásticos pela indústria automobilística em detrimento a outros materiais

Vantagens	Desvantagens
Redução de peso	Deterioração por ação térmica e ambiental
Redução da emissão de CO ₂	Inflamabilidade
Redução do tempo de produção	Baixa resistência ao impacto
Redução de custos	Deformação permanente elevada
Aumento de segurança	Dificuldade de adesão de película de tinta
Melhor uso de espaços	Facilidade de manchas permanentes
Veículos mais silenciosos	Baixa estabilidade dimensional
Formatos mais complexos	
Excelente processabilidade	
Possibilidade de designs mais modernos	

Menores investimentos em manufatura	
Aumento da resistência à corrosão	

Fonte: Adaptado de Hemais (2003).

De acordo com Hemais (2003), as principais resinas utilizadas na indústria automobilística são; Polipropileno (PP) e suas composições; Policarbonato (PC); Poli (óxido de metileno) (POM) e seus copolímeros; Copoli (estireno-butadieno-acrilonitrila) (ABS); Poli (tereftalato de butileno) (PBT); Poli (tereftalato de butileno) de alto impacto (PBT-HI); dentre outros. E de acordo com HARADA (2004) os termoplásticos mais conhecidos são:

Quadro 02: Termoplásticos mais conhecidos mundialmente

	Nome genérico	Sigla	Peso específico (g/cm ³)	Temperatura de transformação (°C)	Temperatura máxima de resistência no serviço (°C)
Termoplásticos	Acetato de Celulose	CA	1,34	184-230	60
	Acetato-Butirato de Celulose	CAB	1,22	160-200	70
	Poliamida (Náilon)	PA	1,15	180-290	100
	Cloreto de Polivinila rígido	PVC	1,45	175-200	65
	Cloreto de Polivinila flexível	PVC	1,45	175-200	65
	Polimetilmetacrilato	PMMA	1,18	180-230	80
	Poliestireno	PS	1,04	180-210	80
	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno	ABS	1,05	180-250	80
	Acrilonitrila-Estireno	SAN	1,08	220-240	85
	Polietileno Baixa Densidade	PEBD	0,92	150-175	90
	Polietileno Alta Densidade	PEAD	0,96	182-22	105
	Polipropileno	PP	0,91	200-220	140
Policarbonato	PC	1,2	240-290	130	

	Polioximetileno (Acetal)	POM	1,4	175-190	95
--	-----------------------------	-----	-----	---------	----

Fonte: Adaptado de Harada (2004).

2.2 Funcionamento e ciclo de uma máquina injetora horizontal

As peças fabricadas por injeção possuem volumes de até 85 quilogramas, com variadas formas geométricas, tanto ocas quanto complexas. A injeção é considerada um processo em massa por sua simplicidade e processo cíclico, requerendo poucas operações e sendo praticamente totalmente automatizado (LIRA, 2017).

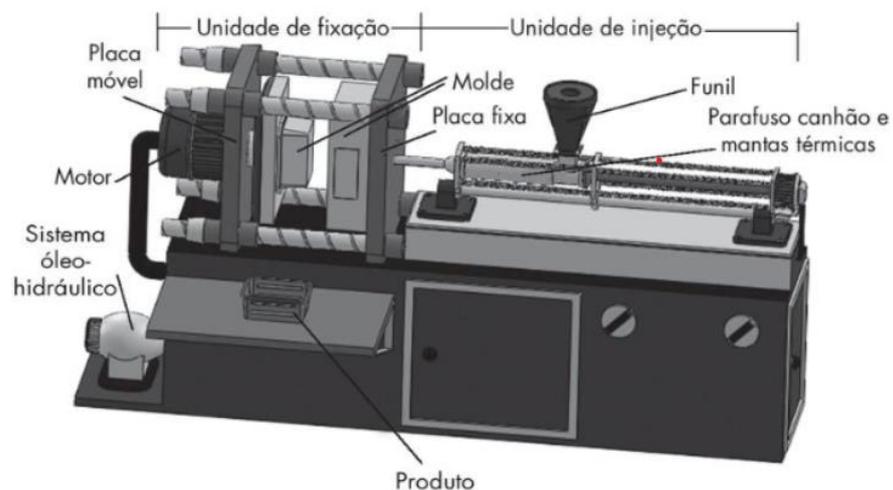
O processo de moldagem por injeção de uma máquina horizontal consiste essencialmente na plastificação do material em um cilindro aquecido e sua consequente injeção para o interior de um molde, onde se solidificará e tomará a forma final. A peça moldada então é retirada do molde por meio de um sistema de extração. É um processo dinâmico e cíclico, que pode ser dividido em algumas etapas sucessivas.

As máquinas injetoras são divididas em duas partes, unidade de injeção e unidade de fechamento (MICHAELI, 1995).

2.2.1 Unidade de fechamento

A unidade de fixação promove o fechamento do molde com força suficiente para suportar a pressão de material no momento de injeção.

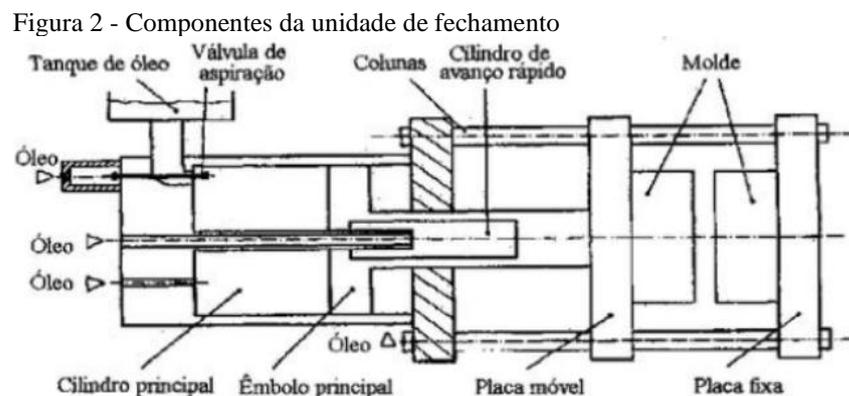
Figura 1 - Representação dos componentes de uma injetora horizontal



Fonte: Lira (2017).

O sistema hidráulico mecânico é o mais utilizado devido às suas particularidades, havendo um maior curso de abertura da unidade e custo reduzido comparado com as de fechamento por pistão. Há também desvantagens, necessitam de lubrificação regular, não possuem precisão nos movimentos e existe grande contaminação do ambiente de trabalho por óleos e graxas (LIRA, 2017).

De acordo com Michaeli (1995), o platô fixo ou denominada placa fixa, permite a fixação e centralização do molde, suporta a força exercida no molde no momento do fechamento. Esta placa possui um furo que está alinhado com o centro do bico de injeção. O molde possui um anel de centragem que é necessário encaixá-lo na placa fixa para ter o alinhamento de todo o sistema. Durante o setup, se houver um mau posicionamento deste anel não se conseguirá alinhar o molde. A placa fixa irá suportar a força exercida da injeção para não haver a abertura do molde, se porventura houver a abertura ou o empenamento da placa, haverá a geração de rebarbas. O platô ou placa móvel, suporta a parte móvel do molde, promove o movimento de abertura e fechamento e exerce força no momento de fechamento.

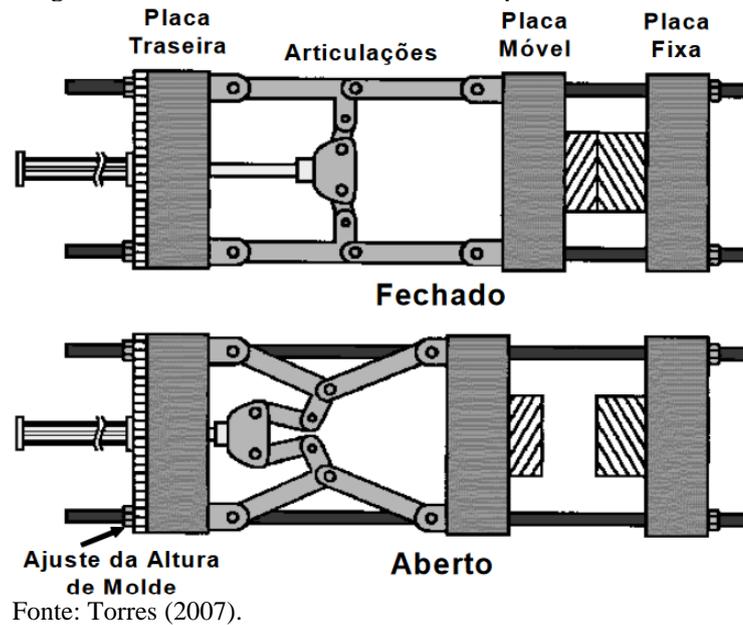


Fonte: Michaeli (1995).

A placa de ajuste ou denominada de placa traseira, faz movimentos de avanço e recuo para aumentar ou diminuir a força de fechamento exercida sobre o molde, através de porcas de ajuste localizadas na parte de trás do platô. Nas máquinas injetoras de fechamento hidráulico mecânico, a força de travamento só é alterada se este platô for avançado ou recuado. Também permite ajustes de diferentes tamanhos do molde.

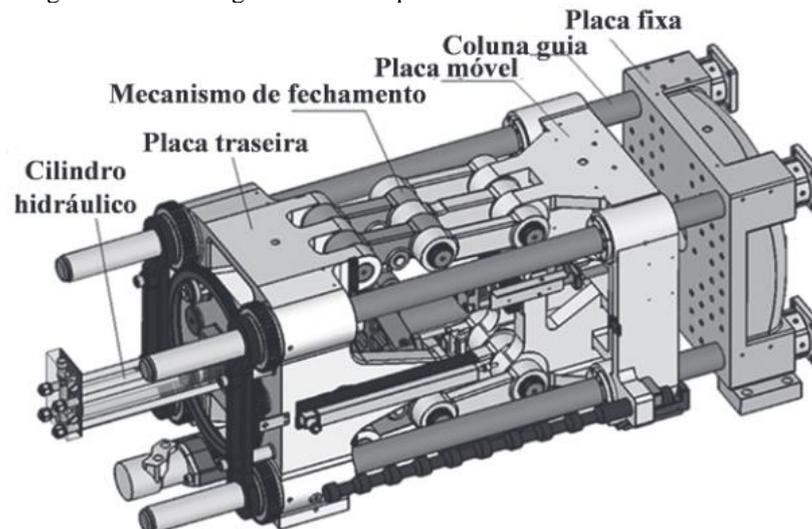
As articulações (braçagens ou tesouras) tem a função de multiplicar a força exercida pelo cilindro hidráulico de fechamento e promover o travamento mecânico do sistema (TORRES, 2007).

Figura 3 - Unidade de fechamento em destaque



Segundo Michaeli (1995) as colunas guias ou tirantes do sistema guiam os movimentos da placa móvel, do molde e suportam a força no momento do estiramento mecânico. Importante estarem sempre lubrificadas para melhor desempenho e menor desgaste.

Figura 4 - Colunas guias em destaque na unidade de fechamento



Fonte: Adaptado de Chan (2016).

O sistema de extração está localizado praticamente junto com o sistema de travamento da barra extratora junto à placa móvel. Este sistema é responsável pelo acionamento da placa impulsora do molde e conseqüentemente a extração do produto (SOARES, 2017).

2.2.2 Unidade de injeção

Tendo como referência as palavras de Michaeli (1995), dentro da unidade de injeção ocorre a plastificação, que é realizada dentro de um cilindro com rosca com a finalidade de transportar, homogeneizar e injetar o material plástico.

As principais funções são:

- a) Movimentar-se em sua base permitindo movimentos de avanço e recuo do canhão;
- b) Gerar pressão de contato entre o bico e a bucha do molde;
- c) Promover o movimento de rotação do parafuso permitindo a dosagem do material;
- d) Produzir movimento de avanço do bico durante a fase injeção;
- e) Produzir movimento de retorno do parafuso durante a fase de descompressão;
- f) Fornecer a pressão de recalque.

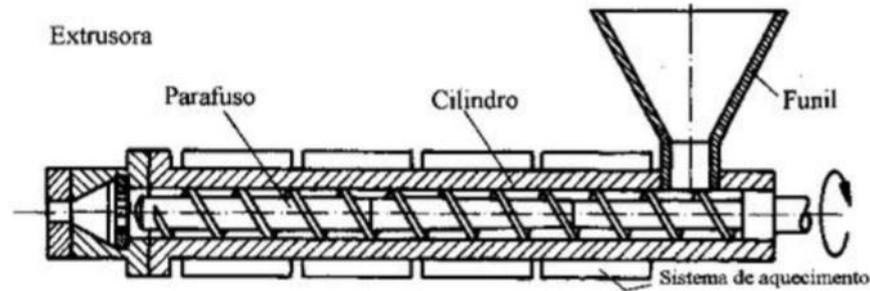
O funil é o local de depósito de material granulado para ser processado, podendo ter sua capacidade variável dependendo do tamanho da máquina. O funil deve ser mantido sempre tampado para evitar que impurezas contaminem o material granulado. Pode-se colocar grades magnéticas visando reter impurezas metálicas ao utilizar-se materiais reprocessados (MICHAELI, 1995).

Logo abaixo do funil, se encontra o início do cilindro, que possui canais profundos onde percorre o material. Nesta região ocorre o transporte dos grãos para a zona de compressão e se dá o início da plastificação através do aquecimento (MICHAELI, 1995).

O cilindro de injeção, ou denominado canhão, é responsável por transmitir calor ao material plástico e realizar a plastificação. Este calor é transmitido por meio de resistências e por meio de atrito do material com a superfície do cilindro com a da rosca (LIRA, 2017). A rosca ou chamada também de parafuso, possui a função de fazer a plastificação e homogeneização do material, através de um movimento rotativo. Trabalha parecida mente como um pistão injetando o material dentro do molde através de uma força axial.

Seguindo Lira (2017) a zona de compressão, possui uma área de volume menor, devido à redução linearmente das profundidades destes canais ao decorrer da rosca. Posteriormente através da temperatura, pressão e compressão, o material passa a ser homogeneizado e ocorre a plastificação do mesmo até a zona de dosagem.

Figura 5 - Unidade de injeção de uma máquina injetora



Fonte: Michaeli (1995).

No bico ocorre a dosagem que é a parte do processo que deixa o material mais uniforme possível para que ocorra a injeção posteriormente. O bico de injeção permite a passagem do material do interior do cilindro para o interior do molde sem que haja contato externo ou perda.

De acordo com Lira (2017) após a injeção de termoplástico e ainda dentro do molde, ocorre um resfriamento forçado, onde um fluido percorre constantemente o interior do molde e finaliza o processo, em seguida as peças podem ser extraídas através do movimento do acionamento da placa impulsora, tanto de forma manual, quanto automatizada através dos manipuladores.

2.3 Normas aplicáveis para as injetoras

As normas regulamentadoras (NR) fazem referência ao Capítulo V (Segurança e Medicina do Trabalho) pertencente à Consolidação de Leis do Trabalho (CLT), em 22 de dezembro de 1977. Ela cita as obrigações, direitos e deveres que empregadores e trabalhadores devem cumprir para garantir um trabalho seguro e saudável, prevenindo doenças, e acidentes de trabalho (BRASIL, 2021).

2.3.1 Análise do Anexo IX da NR 12

Segundo Oliveira (2021) a NR 12 e seus anexos determinam referências técnicas, princípios básicos e medidas protetivas para assegurar a saúde e integridade física dos colaboradores, estabelecendo requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais durante a concepção e utilização de máquinas e equipamentos. Também se aplica à sua fabricação, importação, comercialização e todas as atividades econômicas. O

Anexo IX da NR 12 é específico para a segurança de máquinas de moldagem por injeção, conforme listado abaixo:

- a) 1.2.1. Perigos relacionados à área do molde;
- b) 1.2.2. Área do mecanismo de fechamento;
- c) 1.2.3. Proteção do cilindro de plastificação e bico injetor;
- d) 1.2.4. Área da alimentação de material - Funil;
- e) 1.2.5. Área da descarga de peças;
- f) 1.2.6. Requisitos adicionais de seg. associados com máquinas de grande porte;
- g) 1.2.7. Máquinas com movimento vertical da placa móvel;
- h) 1.2.8. Máquinas carrossel;
- i) 1.2.9. Máquina com mesa porta-molde de deslocamento transversal;
- j) 1.2.10. Máquina multe estações com unidade de injeção móvel;
- k) 1.2.11. Equipamentos periféricos.

2.3.2 Análise da NBR 13536

De acordo com a norma NBR 13536 (2016), ela especifica os requisitos para o projeto, fabricação e uso de injetoras plásticas (termoplásticos e termofixos) e de elastômero, comprovando os requisitos de segurança para as interfaces entre máquinas de injeção, moldes e equipamentos periféricos. Não se aplica a máquinas onde o dispositivo de fechamento só pode ser operado pela força física do operador, máquinas de moldagem por reação (RIM) e equipamentos periféricos de máquina de moldagem por injeção. A NBR 13536 refere-se a muitas organizações estrangeiras, como European Standards (EN), American National Standards Institute (ANSI) e International Organization for Standardization (ISO), conforme mostrado no quadro a seguir:

Quadro 03: Referências da NBR 13536

Norma	Referência
NBR 5410	Instalações elétricas de baixa tensão - Procedimento
ANSI Z35.1	<i>Specifications for accident prevention signs</i>
ISSO 3864	<i>Safety colours and safety signs</i>
EM 294	<i>Safety of machinery: Safety distances to prevent danger zones being reached</i>
EN 349	<i>Safety of machinery: Minimum gaps to avoid crushing of the human body</i>

EN 418	<i>Safety of machinery: Emergency stop equipment - principles for design</i>
--------	--

Fonte: Adaptado de ABNT – NBR 13536 (2016).

A NBR 13536 indica que devem ser tomados cuidados durante o processo de projeto e fabricação da injetora para evitar riscos para as pessoas que trabalham dentro ou ao redor da máquina, principalmente o movimento das partes do dispositivo de fechamento, o movimento da injetora, o cisalhamento ou peças perfurantes e a corrente; Ruído de peças de máquinas quentes ou materiais termoformados, peças de máquinas dinâmicas e fumaça da combustão de materiais processados. As proteções de segurança especificadas pela NBR 13536 são: a proteção fixa, proteção móvel com um sistema de monitoramento, proteção móvel com dois sistemas de monitoramento, e ativação de segurança mecânica. O projeto do dispositivo de proteção deve considerar a distância de segurança (EN 294) e o espaço mínimo permitido (EN 349). Devem ser fornecidas proteções para evitar movimentos perigosos perto da unidade de fechamento. Ao serem abertos, além do movimento perigoso do próprio dispositivo de fechamento, também devem ser evitados todos os movimentos relacionados à pressurização do material plastificado. A NBR 5410 especifica os requisitos gerais para o escopo elétrico dos equipamentos. Deve estar em seu projeto evitar qualquer movimento perigoso na abertura da retirada da peça. Em todas as posições da unidade de injeção, exceto para a posição de manutenção, a área do bico deve ser protegida (ABNT – NBR 13536).

2.4 A geração de refugos relacionados a problemas durante o processo de injeção

De acordo com Harada (2004), problemas com refugos em peças moldadas por injeção é preocupante e caro. Fatores como matéria-prima, máquina e custos trabalhistas da mão de obra são altos, o que afeta diretamente a rentabilidade da empresa. A taxa de refugo de 3% é normalmente o máximo permitido no processo, sendo para as indústrias que utilizam tanto materiais virgens, como matérias-primas restauradas ou recicladas. O propósito de solucionar o problema é minimizar o custo, o que é um fator importante. Uma vez que o operador ou a equipe de controle de qualidade tenha um número de perdas que ultrapasse 3% em certa parte, recomenda-se parar a máquina e analisar a causa imediatamente, porque o custo dessa produção pode não permitir obter lucro. Um exemplo seria que os refugos acima de 10% significam que no final de 10 Horas de trabalho, uma hora de trabalho; produção da máquina; uso de matérias-primas; contas; seriam perdidas, podendo alcançar centenas/milhares de peças.

Conforme descreve Harada (2004), toda moldagem por injeção tem como objetivo a obtenção de peças com alto padrão de qualidade em grande ritmo de produção. Todavia, durante o processo vários problemas podem surgir com qualquer termoplástico, especialmente quando se trata de projetos novos. Podem ocorrer também problemas ocasionados pela utilização de injetoras com um mesmo molde ou quando se troca o material plástico.

Defeitos de moldagem podem ser acarretados pela incorreta utilização da máquina, e com moldes ou materiais plásticos impróprios. Estas três causas (material, máquina e molde), devem ser consideradas princípios críticos quando se procura eliminar defeitos e gerar a obtenção de um bom processo de injeção. Há ocasiões também que problemas podem estar relacionados ao desenho do molde ou na sua construção. Consequentemente, visando conter esses problemas de injeção, é necessário identificar as origens que ocasionam refugos (HARADA, 2004).

2.4.1 Injeções incompletas

Tendo como referência Harada (2004), quando o molde não está completamente preenchido com material fundido, ocorre a injeção incompleta. Problemas como pressão de injeção, velocidade de injeção e temperatura de fusão do material extremamente baixa podem levar a um enchimento insuficiente da cavidade do molde, resultando em erros de tamanho das peças sendo sempre necessária a verificação do canal de passagem da peça, sua correta posição e a distribuição uniforme no desenho do molde, principalmente para as peças mais densas.

2.4.2 Manchas de queimado

Quando a peça moldada aparece manchas pretas ou marrons, isso pode ser causado por erro de temperatura de processamento do material ou contaminação por outras resinas. O ajuste da temperatura de fusão do polímero é necessário. Outro fator de grande importância é a limpeza da rosca plastificadora e o cilindro de maneira regular, para evitar que fragmentos de resina entrem e se acumulem, o que pode ajudar a evitá-lo. Neste caso, é importante verificar os parâmetros de processamento para verificar se não ocorreram erros (HARADA, 2004).

2.4.3 Chupado ou bolhas

Outro problema citado por Harada (2004) é quanto ao ar que fica preso nas partes que deveriam ser firmes e consistentes, surgindo as chamadas bolhas, que são esse tipo de defeito visível na peça injetada e faz com que a resistência mecânica da peça seja diminuída, sendo a mais comum a fragilidade. As bolhas podem estar relacionadas a vários motivos. Quando as bolhas são causadas por problemas relacionados à injetora, podem ocorrer devido ao resfriamento ineficiente da peça devido a um tempo de ciclo muito curto, neste caso a peça é ejetada do molde sem atingir 100% sua formação sólida, ou seja, antes do tempo. Quando a velocidade da rosca é muito rápida, ar e outros gases também são formados no plástico fundido, causando bolhas no líquido de injeção. Os dois motivos citados acima estão relacionados à redução de custos no processo.

Em empresas que não usam ciclos de injeção automática e padronização de processos, a interferência do operador ao abrir a porta da injetora prematuramente também pode ser um problema. A temperatura do molde excessivamente alta ou baixa pode causar bolhas de ar na peça. A má posição da porta de alimentação e a saída de ar insuficiente também são as principais causas de bolhas. Portanto, no estágio de desenvolvimento do molde, a saída de ar e a porta de alimentação são bem projetadas e o molde é projetado corretamente, e o teste é muito importante. A matéria-prima está contaminada por outros plásticos. Se for material reciclado ou contaminado por resinas voláteis, bolhas serão geradas no plástico derretido. Umidade excessiva causada por armazenamento inadequado também pode ser um problema durante o processamento por causa desse vapor excessivamente gerado. Umidade cria bolhas durante a injeção (HARADA, 2004).

2.4.4 Marcas de junção

Uma solda é formada quando o fluxo das cavidades se encontra. Este efeito é comum em moldes com múltiplos pontos de injeção, ou o fluxo encontrou obstáculos e foi forçado a se dividir em duas partes, e então se reencontrando novamente. Linhas de solda podem gerar propriedades mecânicas diferentes em comparação com outras regiões. As marcas de junções atuam como concentradores de tensões, porque a estabilidade molecular desta região não é homogênea. Essas linhas só desaparecem quando o polímero está com a temperatura alta o suficiente no encontro dos fluxos, e sob a pressão certa (MANRICH, 2005).

2.4.5 Rebarbas na peça

Segundo Harada (2004) esses defeitos nas peças moldadas costumam ser muito evidentes, manifestando-se na forma de resíduos de material, principalmente nas bordas das peças moldadas, que são mais finas ou mais grossas que as peças, e esses locais não deveriam existir. Normalmente, as peças com rebarbas eventualmente precisam ser retrabalhadas para remover as peças restantes. Nesse caso, pode ser útil verificar se o fechamento do molde é eficaz, se a pressão de injeção está muito alta e medir o projeto do molde e o processo de fabricação sem usar tolerâncias muito altas. As rebarbas nas peças plásticas são uma das principais causas de desperdício na indústria e um dos defeitos mais comuns nas peças moldadas.

2.4.6 Deformação ou contração excessiva

Conforme diz Manrich (2005), deformação ou empenamento é uma distorção da forma original de uma peça. Se a peça for montada ou parte de uma montagem, essa distorção pode causar dificuldade no posicionamento. Em peças empenadas, a redução da injeção é desigual. A causa mais comum de defeitos em peças moldadas por injeção é o resfriamento desigual do molde. Devido à orientação das fibras na peça, o uso de cargas como as fibras de vidro também pode distinguir o encolhimento durante a injeção. Se a peça foi retirada do molde muito quente, o encolhimento também pode ser um problema, causando a deformação do molde.

2.5 Reciclagem dos materiais poliméricos

Os polímeros são considerados os maiores vilões ambientais, pois podem levar séculos para se degradar e ocupar grande parte do aterro, interferindo negativamente nos processos de compostagem e bioestabilização. Portanto, a reciclagem do sistema é uma das soluções mais viáveis para minimizar o impacto dos polímeros no meio ambiente. O aumento do lixo plástico é atribuído ao crescimento exponencial da população. Sua reutilização ou reciclagem é a solução. Reutilização é o processo de reaproveitamento de resíduos sólidos sem modificações biológicas, físicas ou físico-químicas, e a reciclagem é o processo de modificação dos resíduos sólidos, incluindo a modificação de suas características físicas,

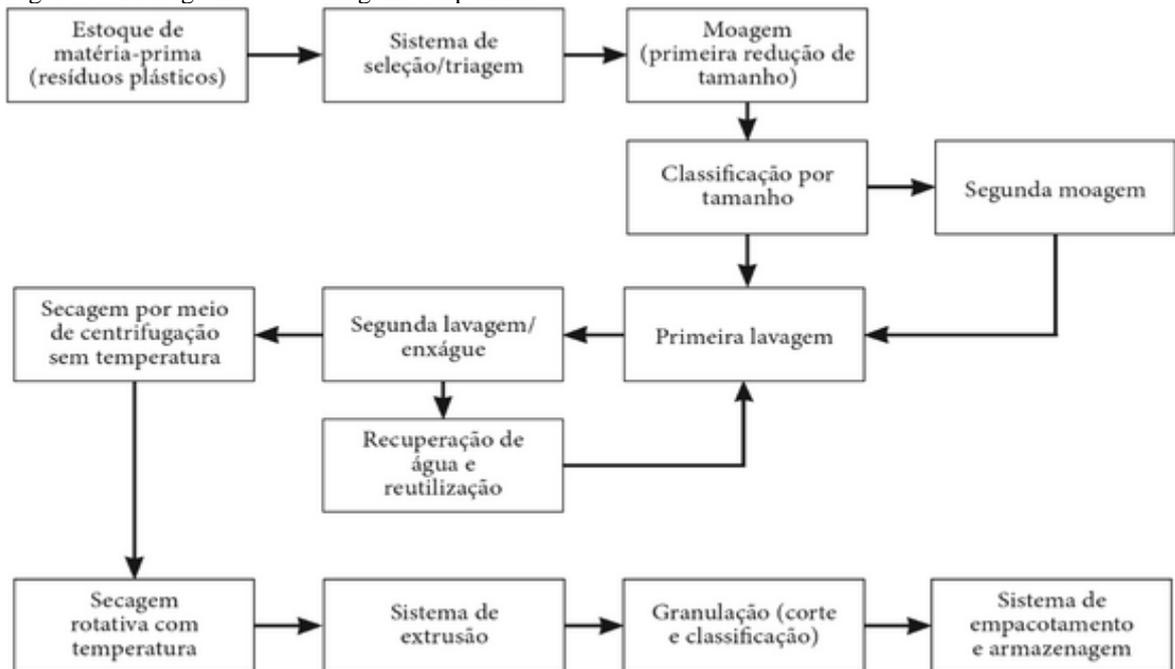
físico-químicas ou biológicas, com o objetivo de transformá-los em insumos ou novos produtos (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Paoli e Spinacé (2005), a reciclagem de polímeros pode ser dividida em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária. A reciclagem primária envolve a conversão de resíduos de polímeros industriais em produtos com características equivalentes a dos produtos produzidos usando o polímero virgem. A característica da reciclagem secundária é transformar os resíduos de polímero sólidos urbanos em produtos com requisitos inferiores aos obtidos com polímero virgem por meio de um processo ou combinação de vários processos. A reciclagem terciária inclui o processo técnico de produção de produtos químicos ou insumos de combustível a partir de resíduos de polímeros. A quaternária se baseia em um processo técnico de recuperação de energia de resíduos de polímeros por meio de incineração controlada. A reciclagem primária e a secundária são chamadas de reciclagem mecânica ou física, o que as diferencia é o uso do polímero na primária e o polímero pós consumo no uso secundário.

Através do reprocessamento desses materiais pode-se reutilizar para a extrusão, injeção, termo formação, moldagem por compressão, dentre outros. A reciclagem mecânica pode ser alcançada através de algumas etapas:

- a) separação de resíduos poliméricos;
- b) moagem;
- c) lavagem;
- d) secagem;
- e) reprocessamento.

Figura 6 - Fluxograma de reciclagem dos polímeros



Fonte: (ZANIN; MANCINI, 2015).

Posteriormente, o polímero está pronto para ser reprocessado na fabricação de novos produtos. Porém, para garantir as propriedades mecânicas do produto, geralmente deve-se utilizar até 30% de resíduo de polímero no lugar do material original para evitar a deterioração do produto acabado, podendo ter uma margem maior ou menor a depender do material (OLIVEIRA, 2015). A reciclagem mecânica é utilizada no Brasil devido aos demasiados fatores como custo de mão-de-obra, etc. (PAOLI; SPINACÉ, 2005).

2.6.1 Refugos

O refugo representa todo o material que não pode mais ser utilizado no processo de produção, tanto por estar fora das especificações e características, como por falta de qualidade impossibilitado seu envio para o cliente (ZANIN; MANCINI, 2015).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido em uma empresa do ramo automobilístico localizada no município de Varginha/MG. Ele se divide em duas etapas, a primeira sendo a explicação do referencial teórico e a segunda a exposição do método de reciclagem de peças em polipropileno e a adição de material reciclado ao material virgem. Conseqüentemente a segunda etapa apresenta ganhos financeiros pretendidos na empresa.

3.1 Escolha da matéria-prima

A matéria-prima escolhida foi através do seu alto volume produtivo, o polipropileno ou denominado PP, neste processo de reciclagem foi adicionado ao material virgem 20% de material reciclado. Trata-se de um tipo de plástico que pode ser moldado várias vezes quando submetido a temperatura elevada, por isso é classificado como um termoplástico.

Figura 7 – Polipropileno em formato granulado



Fonte: O autor.

3.2 Reprocessamento

Com a ampla variedade de utilização em partes estruturais e componentes mecânicos e peças de acabamento automotivo, existem demasiados níveis de separação que dificultam a desmontagem para reciclagem, além de que podem ser contaminados por processos de fixação da peça por cola ou adesivos químicos.

3.2.1 Peças não conformes

A não conformidade é o resultado de um processo falho e que gera insatisfação ao não atendimento à um critério externo ou interno. Produtos que não atendem estes critérios podem ser reaproveitados através da reciclagem. Conforme mostrado na figura 08 abaixo, pode se ver uma peça plástica com um problema correlacionado a injeção ao lado direito, que foi contida em linha produtiva, resultante de uma falha de deformação conforme diz Manrich (2005), e ao lado esquerdo, uma peça em boas condições para prosseguir adiante para a linha de montagem. Peças não conformes são devidamente identificadas, apontadas em guias de refugos, separadas e posteriormente encaminhadas para o setor de reciclagem.

Figura 08 – Peças plásticas segregadas na linha de produção



Fonte: O autor.

Posteriormente detectada a falha, os denominados refugos devem ser encaminhados para a etapa de reciclagem, a fim de se recuperar o material, proporcionando assim economia com a compra de matéria-prima virgem.

3.2.2 Galhos

Durante o processo de injeção dos termoplásticos, são gerados resíduos, chamados de galhos, formados pelos canais de injeção que não fazem parte do produto final. O canal de injeção tem como finalidade direcionar a matéria-prima fundida até a cavidade do molde para preenchimento e formação do produto desejado.

Após serem gerados, estes resíduos devem ser armazenados de forma correta para que não haja o contato com outros materiais ou agentes contaminantes, porque são dotadas de alta qualidade para a reciclagem, já que são limpas e puras.

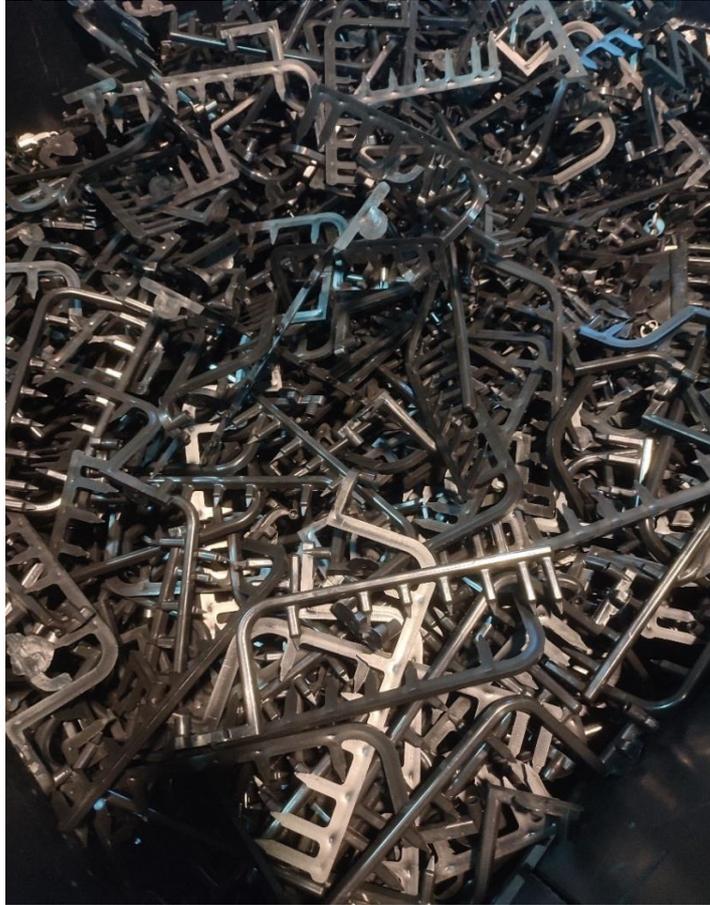
3.3 Reciclagem

Devido à baixa, porém constante geração de resíduos plásticos não conformes, é empregada pela fábrica o método de reciclagem mecânica, com a utilização de um granulador de facas rotativas para promover a moagem destes resíduos e posteriormente voltá-los ao processo de injeção.

3.3.1 Separação dos polímeros

Primeira etapa do processo, onde os produtos defeituosos e galhos devem ser separados antes de serem enviados para o moinho. Devem estar devidamente separados de outros tipos de polímeros, e isentos de resíduos provenientes de outros materiais, como por exemplo cola, borracha, metais, etc.

Figura 8 - Galhos separados para reciclagem



Fonte: O autor.

3.3.2 Moagem

Após serem separados, estes polímeros são encaminhados para uma máquina granuladora alimentada manualmente, dotada por um motor elétrico que porta facas rotativas, transformando as antigas peças em grãos de polipropileno.

Figura 9 – Máquina granuladora mecânica



Fonte: O autor.

Após serem moídos, possuem uma granulometria maior que o formato dos pellets já reciclados, como mostrado na figura 11 abaixo por não terem passado pelo o processo de extrusão, além de conterem micro resíduos plásticos.

Figura 10 - Polipropileno moído



Fonte: O autor.

3.3.3 Lavagem e secagem

Devido ao processo de reciclagem ser mecânico e classificado como primário, e com ações estratégicas da empresa, estes resíduos já estão devidamente separados para serem reciclados vetando a etapa de lavagem, evitando assim perda de tempo e a concentração de recursos com as operações de lavagem e secagem.

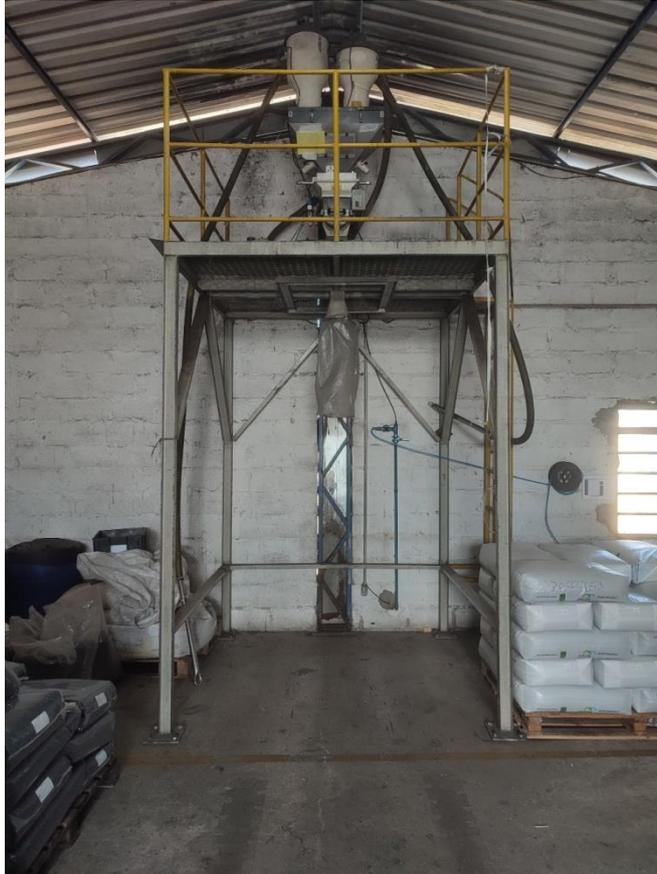
3.3.4 Compostagem dos materiais

Posteriormente a matéria-prima triturada é encaminhada para uma empresa terceira que realiza a extrusão deste material e conseqüentemente o corte em formato de pellets, resultando no processo final de reciclagem da matéria-prima.

Uma vez concluído o ciclo de reciclagem, esta matéria-prima retorna para a empresa e através de um misturador industrial, o material reciclado é adicionado ao insumo virgem.

A compostagem ocorre devido a utilização de duas mangueiras de sucção do misturador que capitam simultaneamente os grãos virgens e reciclados. A proporção correta varia de acordo com a aplicabilidade, complexidade dimensional, fatores climáticos, questões estéticas. Tudo isto leva a abrangência do percentual misturado.

Figura 11 – Misturador industrial



Fonte: O autor.

No setor em específico, se faz a compostagem de quinze produtos diferentes, tendo uma variância do percentual reciclado, visando a redução de compra de matéria-prima virgem e o não descarte de forma inadequada, evitando assim prejudicar o meio ambiente.

Quadro 2 – Códigos das matérias-primas e suas compostagens

Código Final	Material Virgem	Porcentual do Material Virgem	Material Reciclado	Porcentual do Material Reciclado
7000286	300359	70%	98108	30%
7000719	440270	70%	98108	30%
7001881	7000781	80%	7001142	20%
7001882	7000302	80%	7000722	20%
7002067	7001594	80%	7001938	20%
7002068	7001612	70%	98108	30%
7002230	7003185	95%	93720	5%
7002584	7001601	70%	7001938	30%
7003265	7001534	70%	98108	30%
7003706	7000384	80%	98108	20%
7003707	7003397	70%	98108	30%
7003708	7002338	80%	98108	20%

7003782	7002339	80%	98108	20%
7003787	7003395	70%	98108	30%
7003757	7003495	50%	7000602	50%

Fonte: O autor.

Como mostrado no quadro 02, o código referente ao polipropileno reciclado é o 98108, e é aplicado com uma variância entre 20% á 30%, porém não há perdas, uma vez que se é possível utilizar todo o material reciclado em outros lotes de materiais virgens. No estudo foi utilizado 20% do material reciclado ao material virgem 7002339.

4 RESULTADOS

Foi realizado um teste de injeção, preparando cerca de 60 kg de matéria prima, já com a compostagem de 20% de polipropileno reciclado em relação à virgem, com o objetivo de avaliar o dimensional da peça.

Através de um relatório dimensional metrológico, foi possível verificar se o dimensional da peça estava dentro das tolerâncias permitidas, como mostra nas figuras 13 e 14. Foi feita uma amostragem de 10 peças com a adição do material reciclado, afim de garantir o nível permitido das cotas.

Figura 12 - Relatório metrológico da matéria prima virgem

METROLOGIA											
RAI - Relatório de Amostra Inicial											
RAI N°:		REV. N°: 00		Emissão 05/08/2021				Página: 01/01			
Cliente:		Material / Cor: PP COMPOSTO AU2BPR / PRETO				<input type="checkbox"/> 1ª Amostra <input type="checkbox"/> Reapresentação de Amostra <input type="checkbox"/> Modificação Ferramental <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Dimensional <input type="checkbox"/> Auditoria de Produto					
Peça: Moldura do Console		Moide N°:		N° Cavidade 08							
N°:		Revisão: 001		Data (Desenho) 12/05/17							
Coordenada	Especificações				Metrologia				CLIENTE LAUDOS		
	Nominal	+	-	INSTR.	CAV. N°	MIN.	MAX.	Desvio	C	NC	
04	Ø	75,00	0,50	0,50	D	1	74.61	74.65			
					D	2	74.67	74.72			
					D	3	74.72	74.77			
					D	4	74.58	74.60			
					D	5	74.55	74.58			
					D	6	74.67	74.72			
					D	7	74.66	74.67			
					D	8	74.57	74.60			
27	Ø	8,00	0,30	0,30	D	1	8.01	8.04			
					D	2	8.09	8.12			
					D	3	8.10	8.14			
					D	4	8.05	8.11			
					D	5	8.03	8.07			
					D	6	8.06	8.10			
					D	7	8.07	8.13			
					D	8	8.03	8.11			
07	Dim	49,75	0,15	0,15	L	1	49.83	49.87			
					L	2	49.79	49.80			
					L	3	49.61	49.65			
					L	4	49.64	49.68			
					L	5	49.76	49.80			
					L	6	49.65	49.67			
					L	7	49.75	49.79			
					L	8	49.88	49.92			
Amostra Arquivada		Quantidade de Amostra				Cópias		<input checked="" type="checkbox"/> Qualidade <input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> Outros			
<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		10									
PARECER DO CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO <input type="checkbox"/> DESVIO											
Legenda: C - Micrômetro D - Paquímetro F - Projetor de Perfil I - Tridimensional M - Kratos A - Dinamômetro E - Pente de Folga G - Rugosímetro J - Tridimensional Manual N - Altimetro B - Durômetro H - Torquímetro L - Tridimensional Óptica											

Fonte: O autor.

Figura 13 - Relatório metrológico com a adição de 20% reciclado

METROLOGIA											
RAI - Relatório de Amostra Inicial											
RAI Nº:			REV. Nº: 00			Emissão 08/08/2021			Página: 01/01		
Cliente:			Material / Cor: PP COMPOSTO AU2B + 20% MOÍDO			<input type="checkbox"/> 1ª Amostra <input type="checkbox"/> Reapresentação de Amostra <input type="checkbox"/> Modificação Ferramental <input checked="" type="checkbox"/> Verificação Dimensional <input type="checkbox"/> Auditoria de Produto					
Peça: Moldura do Console			Moide Nº:		Nº Cavidade: 08						
Nº:			Revisão/Data (Desenho): 001		12/05/17						
Coordenada	Especificações				Metrologia				CLIENTE LAUDOS		
	Nominal	+	-	INSTR.	CAV. Nº	MIN.	MAX.	Desvio	C	NC	
04	Ø	75,00	0,50	0,50	D	1	74,54	74,58			
					D	2	74,69	74,73			
					D	3	74,68	74,72			
					D	4	74,61	74,68			
					D	5	74,58	74,59			
					D	6	74,60	74,64			
					D	7	74,69	74,70			
					D	8	74,64	74,67			
27	Dim	8,00	0,30	0,30	D	1	8,02	8,05			
					D	2	8,00	8,05			
					D	3	8,02	8,08			
					D	4	8,02	8,07			
					D	5	8,00	8,06			
					D	6	8,06	8,09			
					D	7	8,04	8,07			
					D	8	8,02	8,06			
07	Ø	49,75	0,15	0,15	L	1	49,821	49,865			
					L	2	49,621	49,742			
					L	3	49,656	49,688			
					L	4	49,835	49,876			
					L	5	49,867	49,888			
					L	6	49,726	49,771			
					L	7	49,817	49,825			
					L	8	49,883	49,893			
Amostra Arquivada			Quantidade de Amostra			Cópias			<input checked="" type="checkbox"/> Qualidade <input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/> Outros		
<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			10						<input checked="" type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> REPROVADO <input type="checkbox"/> DESVIO		
Legenda: A - Dinamômetro C - Micrômetro F - Projetor de Perfil I - Tridimensional M - Kratos B - Durômetro D - Paquímetro G - Rucosímetro J - Tridimensional Manual N - Altimetro E - Pente de Folga H - Torquímetro L - Tridimensional Óptica											

Fonte: O autor.

Foi feita a análise do dimensional das duas condições de materiais utilizados, foi constatado que não houve alteração significativa, e todas as cotas permaneceram dentro das tolerâncias especificadas do desenho.

Após a coleta de números através de uma base de dados, foi possível apontar qual foi à redução anual do consumo da matéria-prima com o polipropileno que a empresa teve. Observando o quadro 03 se comparados os anos 2020 e 2021, percebe-se que foram comprados cerca de 6.650 quilogramas a menos de material polipropileno devido à

reciclagem interna deste material, proporcionando uma redução de custos de cerca de 100 mil reais, valor considerável que pode ser aplicado em outros projetos correlacionados a empresa.

Quadro 03 – Apresentação da redução de custos

Ano	2020	2021
matéria-prima virgem comprada em KG	126.700	120.050
Total em R\$	R\$ 1.908.102,00	R\$ 1.808.953,00
Total Economizado		R\$ 100.149,00

Fonte: O autor.

5 FUTUROS PROJETOS

O resultado do estudo é positivo, e demonstra que possa ser feito um novo teste, com a adição de 30% de material reciclado, afim de aumentar o volume adicionado ao material virgem.

Ainda visando melhorias no ano de 2022, está sendo implementando na empresa, uma extrusora capaz de tratar os pellets moídos, tornando assim a fábrica totalmente autônoma quanto à reciclagem mecânica, não mais necessitando de um serviço terceirizado de extrusão e corte dos materiais. Assim abre-se possibilidades de novos estudos relacionados a reciclagem interna, contribuindo crescentemente em reduções de custos.

6 CONCLUSÃO

Visando ter foco na diminuição de refugos, especificamente do setor de injeção termoplástica, necessita-se de criar e padronizar planos promissores para que se tenha um menor volume de descartes de resíduos destinados em forma de lixo, além de aumentar a lucratividade das empresas, que é um fator decisivo para quem busca competitividade, buscando clientes cada vez mais satisfeitos.

O projeto busca expor de maneira básica e objetiva os polímeros termoplásticos, e meios de reaproveitamentos adequados dos refugos, não se tratando apenas de economia para a empresa, mas ajudando a proteger o meio ambiente quanto aos seus poluidores.

Uma vez comprovada a eficiência da reciclagem e seu importante retorno econômico, leva-se a condição de sugerir a realização de novos projetos utilizando novas fontes de refugos, borras, embalagens e outros materiais como PC, ASA, ABS, etc.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 13536: **Máquinas injetoras para plástico e elastômeros-Requisitos técnicos de segurança para o projeto, construção e utilização.** São Paulo, 2016.
- BRASIL. Ministério do trabalho. **Normas regulamentadoras.** Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>>. Acesso em: 05 de nov. 2021.
- CHAN, A. **Injectionmoldingmachines.** Disponível em:<<https://plasticsformingtech.com/injection-molding-machines/>>. Acesso em: 03 nov de 2021.
- DUTRA, E.; ROSA, J.; BRAUN, A. **Estudo de um sistema de fechamento de unidade de fundição por pressão utilizando ferramentas de CAD e CAE.** Rio Grande do Sul, 2020.
- HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos.** São Paulo, Editora Artliber, 2004.
- HARADA, J.; WIEBECK, H. **Plásticos de Engenharia.** São Paulo: Artliber Editora, 2005.
- HEMAIS, Carlos. “**Polímeros e a indústria automobilística.**” Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000200008. Acesso em 2 de novembro de 2021.
- LIRA, V. **Princípios dos Processos de Fabricação Utilizando Metais e polímeros.** São Paulo, Editora Blücher, 2017.
- MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: Rosca única, Extrusão & Matrizes, Injeção & Moldes.** São Paulo, Editora Artliber, 2005.
- MICHAELI, W, et al. **Tecnologia dos Plásticos.**Aachen,Alemanha, Editora Blücher, 1995.
- OLIVEIRA, R. **ADEQUAÇÃO DE MÁQUINAS INJETORAS HORIZONTAIS ÀS NORMAS REGULAMENTADORAS NR 17 E NR 35: ESTUDO DE CASO.** Belém, 2021.
- OLIVIER, S. **Avaliação dos impactos ambientais gerados pela produção de resíduos industriais do ramo metalúrgico.** Recife, 2006.
- PAOLI, M. A.; SPINACÉ, M. A. S. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova,** Campinas, 2005.
- SOARES, J. **Tratamento térmicos de ligas de alumínio obtidas por fundição injetada.** Portugal, 2017.
- TORRES, J. **Prevenção de Acidentes em Máquinas Injetoras de Plástico.** Rio Grande do Sul, 2007.
- TROMBINI, R. C. **Desenvolvimento e Caracterização de Composições Polipropileno/Cargas Retardantes de Chama.** São Carlos, 2004.

WENSKI, Fábio. et al. REUTILIZAÇÃO DE BORRA PLÁSTICA DESCARTADA NA LIMPEZA DO CILINDRO DE PLASTIFICAÇÃO. **Revista de Extensão e Iniciação Científica da UNISOCIESC**, 2(2), 135-145. Curitiba, 2012. Disponível em: <http://reis.unisociesc.com.br/index.php/reis/article/view/29>. Acesso em: 03 nov de 2021.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduos Plásticos e Reciclagem**. São Carlos, Editora EdUFSCar, 2015.