

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA – EEL/USP

VANESSA DOS SANTOS BORGES

Análise dos defeitos e implementação de melhorias do processo de injeção plástica
de uma indústria de peças automotivas utilizando o Lean Six Sigma

Lorena - SP
2020

VANESSA DOS SANTOS BORGES

Análise dos defeitos e implementação de melhorias do processo de injeção plástica
de uma indústria de peças automotivas utilizando o Lean Six Sigma

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo como requisito parcial para conclusão da graduação do curso de Engenheira Química.

Orientador (a): Doutora Livia Melo Carneiro

Lorena - SP

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Borges, Vanessa dos Santos
Análise dos defeitos e implementação de melhorias
do processo de injeção plástica de uma indústria de
peças automotivas utilizando o Lean Six Sigma /
Vanessa dos Santos Borges; orientadora Livia Melo
Carneiro. - Lorena, 2020.
51 p.

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia
Química - Escola de Engenharia de Lorena da
Universidade de São Paulo. 2020

1. Para-choque automotivo. 2. Injeção plástica. 3.
Defeitos. 4. Lean six sigma. I. Título. II. Carneiro,
Livia Melo, orient.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e amigos que me deram suporte e apoio durante estes anos de graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar o meu caminho até aqui e tenho fé que esta ainda é uma das primeiras grandes conquistas que Ele reserva para a minha futura carreira profissional como Engenheira.

Agradeço à minha família pelo amor incondicional, pelo apoio durante todos estes anos e por sempre me incentivarem a me desafiar e crescer como pessoa e profissional.

Agradeço a todos os docentes e funcionários da Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) que contribuíram de alguma forma para o meu desenvolvimento e todo o conhecimento que adquiri nestes anos de graduação.

Agradeço à Professora Dra. Livia Melo Carneiro, minha orientadora, por toda atenção e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu namorado Uilians por todo amor, carinho e incentivo durante a elaboração deste trabalho e durante todo o início da minha carreira profissional.

RESUMO

BORGES, V. S. Identificação e análise dos defeitos do processo de injeção plástica em uma indústria de peças automotivas. 2020. 51 p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

O processo de fabricação de para-choques automotivos é realizado por meio de injeção plástica. Este processo apresenta diversas não-conformidades ou problemas que podem causar retrabalhos e perdas. Em um mercado tão competitivo e dinâmico, como o automotivo, tais perdas e custos extras podem impactar diretamente na saúde financeira das empresas. Este trabalho consistiu em um estudo das análises dos defeitos provenientes do processo de injeção plástica em para-choques de uma indústria automotiva do Vale do Paraíba, onde produz-se peças plásticas para diversas montadoras. Foram utilizadas ferramentas aplicadas à metodologia Lean Six Sigma, como o Gráfico de Pareto, o qual permitiu priorizar estes defeitos. Adicionalmente, foram levantadas as possíveis causas raízes dos problemas por meio do Diagrama de Ishikawa (ou Diagrama de Causa e Efeito) e de um *brainstorming* e os dados financeiros foram extraídos do software SAP. Foram identificados onze tipos de defeitos provenientes do processo produtivo de injeção plástica e dentre eles, foram propostas e implementadas algumas ações de melhorias para os cinco defeitos majoritários, que reduziram o índice de desperdícios em 1,9%, gerando uma redução de 2,08% no custo unitário de cada peça injetada em um período de cinco meses.

Palavras-chave: Para-choque automotivo. Injeção plástica. Defeitos. Lean Six Sigma.

ABSTRACT

BORGES, V. S. Identification and analysis of the plastic injection process defects in an automotive parts industry. 2020. 51 p. Monograph (Degree in Chemical Engineering) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

The automotive bumper manufacturing process is carried out by means of plastic injection. This process have several non-conformities or problems which can cause rework and losses. In such a competitive and dynamic market, such as the automotive, such losses and extra costs can directly affect the financial health of companies. This work was a study of the analysis of defects from the plastic injection process in bumpers of an automotive industry in Vale do Paraíba, where plastic parts are produced for several automakers. Tools applied to the Lean Six Sigma methodology were used, such as the Pareto Graph, which allowed the prioritization of these defects. Moreover, the possible root causes of these were problems were presented through the Ishikawa Diagram (or Cause and Effect Diagram) and a brainstorming and the financial data were extracted from the SAP software. Eleven types of defects from the plastic injection production process were identified and, among them, some improvement actions were proposed and implemented for the five major defects, which reduced the waste rate by 1.9%, generating a 2.08% reduction in the unit cost of each injected bumper over a period of five months.

Keywords: Automotive bumpers. Plastic injection. Defects. Lean Six Sigma.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula estrutural das moléculas de propileno e polipropileno	16
Figuras 2A e 2B - Spoiler e grade automotiva.....	17
Figura 3 - Diagrama do processo de injeção plástica	19
Figura 4A e 4B - Macho e cavidade de um molde	21
Figura 5 - Representação gráfica do Diagrama de causa e efeito.....	27
Figura 6 – Gráfico de Pareto representando o nº de <i>scrap</i> e a porcentagem de <i>scrap</i> acumulado no período de Julho a Novembro de 2018.....	35
Figura 7 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de rebarbas.....	37
Figura 8 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para danos causados pelo operador.....	38
Figura 9 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de linhas de fluxo.....	39
Figura 10 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de linhas de soldagem.....	40
Figura 11 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de linhas de injeção incompleta.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Defeitos do processo de injeção plástica, suas características e possíveis causas.....	22
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de peças defeituosas (<i>scrap</i>) por tipo de defeito e porcentagem de <i>scrap</i> por total de peças injetadas no período de Julho a Novembro de 2018	32
Tabela 2 - Custo de <i>scrap</i> por tipo de defeito no período de Julho a Novembro de 2018	34
Tabela 3 - Quantidade de peças defeituosas (<i>scrap</i>) por tipo de defeito e porcentagem de <i>scrap</i> por total de peças injetadas pós-melhoria	44
Tabela 4 - Custo de <i>scrap</i> por tipo de defeito pós-melhoria.....	46

LISTA DE SIGLAS

SAP	Software Applications and Products
ERP	Enterprise Resource Planning
PVC	Policloreto de vinila
PVA	Poliacetato de vinila
PET	Politereftalato de etileno
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
ABS	Poli(acrilonitrila-butadieno-estireno)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização	11
1.2	Justificativa	12
1.3	Objetivos Gerais	12
1.4	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Polímeros	14
2.1.1	Polipropileno (PP).....	16
2.1.2	Poli(acrilonitrila-butadieno-estireno) (ABS).....	17
2.2	Processo de Injeção	18
2.3	Moldes	20
2.3.1	Empenamento	23
2.3.2	Marcas de Fluxo	24
2.3.3	Rechupes e Vazios.....	24
2.3.4	Rebarbas	24
2.3.5	Moldagem Incompleta ou Falhada	25
2.3.6	Esguichamento	25
2.3.7	Linha de Soldagem.....	25
2.3.8	Contração Muito Alta	26
2.4	Ferramentas da Qualidade	26
2.4.1	Gráfico de Pareto	26
2.4.2	Diagrama de Causa e Efeito.....	26
2.5	SAP	27
3	METODOLOGIA.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	Coleta de Dados	31
4.2	Análise de Dados	35
4.2.1	Gráfico de Pareto	35
4.2.2	Diagrama de Ishikawa	36
4.3	Ações Propostas para Melhoria.....	42
4.4	Análise dos Dados e Custos Pós-melhoria.....	42
4.5	Comparação Antes e Pós-melhoria.....	47
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A indústria automobilística tem sofrido uma grande evolução nas últimas décadas. Acompanhando este avanço, as peças automotivas também sofreram grandes alterações não somente a fim de apresentarem preços mais competitivos no mercado, mas também com o objetivo de melhorar as propriedades e aplicabilidade do produto.

Em meados de 1915, surgiram os primeiros para-choques nos automóveis, os quais eram feitos de metal e peças cromadas. Inicialmente, o para-choque era uma peça fina que possuía uma função estritamente decorativa e era somente montada na parte frontal do carro. Por ser uma peça de metal, sua maleabilidade era baixa e, portanto, os vãos entre o corpo do carro e o para-choque eram bastante evidentes, além de que a cor entre as duas partes ainda precisava de ajustes. Ademais, outras dificuldades foram observadas e necessitavam ser adaptadas, como o alto peso do material.

Após a Segunda Guerra Mundial, em torno da década de 70, com a crise do petróleo, este insumo teve seu preço bastante elevado ao ser descoberto que o petróleo era uma fonte de energia não-renovável. Por conta disso, houve um aumento no preço dos combustíveis, forçando a necessidade de inovações no meio automobilístico. Nesta época, o para-choque constituído de metal foi substituído pelo para-choque produzido a partir de plástico, que, além de mais leve é capaz de reduzir o consumo de combustível, como também o impacto ambiental gerado é significativamente menor, pois com a redução do consumo de combustíveis, uma menor quantidade de gases CO₂ são emitidos na atmosfera. Segundo estudos do American Chemistry Council (ACC, 2011), 4,7 toneladas de dióxido de carbono – CO₂ deixam de ser emitidas por carro ao longo de sua vida útil, em função do uso de plástico em sua composição.

A utilização de para-choques de plásticos ainda possui vantagens como a redução da absorção de impacto em caso de eventuais colisões, levando a uma maior segurança, além de ser menos suscetível à corrosão, apresentando

resistência térmica e mecânica semelhantes ao do metal. O para-choque de plástico ainda possui maior maleabilidade comparado ao metálico, capaz de reduzir os espaços entre o corpo do carro e o próprio para-choque, apresentando um maior conforto e estilo, visto que seu design tem se tornado cada vez mais complexo. Desta forma, o para-choque, que inicialmente era somente uma peça dianteira do automóvel, agora é tanto dianteira como traseira e seu design permite um melhor aero dinamismo no carro (MALAGUETA; DE MEDINA, 2013).

1.2 Justificativa

A produção de para-choques é realizada por meio do processo de injeção plástica, onde o polímero utilizado como matéria-prima é injetado em moldes até atingir o formato desejado.

O processo de injeção plástica é uma das principais etapas do processo de produção de peças automotivas e, portanto, ainda requer um melhor estudo e análise sobre seus parâmetros visando uma melhoria no custo, tempo e qualidade.

Este presente trabalho torna-se de relevante importância ao passo que todo processo produtivo necessita de um controle dos seus parâmetros de qualidade a fim de aumentar a eficiência e eliminar a ocorrência de defeitos e não conformidades, visto que o custo gerado por qualquer retrabalho, horas extras trabalhadas, matéria-prima desperdiçada, entre outros, fazem o processo ficar mais dispendioso, afetando a saúde financeira de uma empresa.

1.3 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho consiste em identificar e analisar os possíveis defeitos advindos de um processo de injeção plástica em uma indústria de peças automotivas, assim como implementar ações de melhoria para a redução do índice de peças defeituosas.

1.4 Objetivos Específicos

Tem-se como objetivos específicos:

- Descrever o processo de injeção plástica e os possíveis defeitos relacionados a ele em uma indústria de peças automotivas;
- Identificar estes defeitos;
- Identificar as não conformidades mais recorrentes de acordo com um gráfico de Pareto;
- Analisar as causas raízes dos defeitos mais relevantes;
- Propor e implementar melhorias para a redução/eliminação destes problemas de processo;
- Avaliação do custo do processo de injeção, por meio do software SAP, antes e após a implementação de melhorias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

Os polímeros são moléculas de alta massa molecular constituídos de unidades menores e repetitivas denominadas “meros”. Estes compostos possuem uma alta aplicabilidade nos dias atuais, podendo ser utilizados em revestimentos, tubos, roupas, alimentos, embalagens, pneus, entre outros. Os polímeros naturais, como o amido, a celulose e as próprias proteínas presentes no organismo humano comprovam que este componente é de extrema importância e está desde os primórdios presente na vida do homem. Na metade do século XX, surgiram os primeiros polímeros sintéticos que passaram a ser criados e investigados a partir de estudos do cientista alemão Hermann Staudinger sobre o processo de polimerização (PAOLI, 2008).

Os polímeros podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química, o seu método de síntese, seu comportamento e desempenho mecânico. Quanto a sua estrutura química, os polímeros podem apresentar somente cadeias homogêneas, compostas por cadeias carbônicas alifáticas, a exemplo é possível citar as olefinas, os polímeros clorados, como o PVC, com aplicação em tubos de encanamento para água e esgoto e o PVA, utilizado majoritariamente na produção de tintas. Podem ser classificados também em polímeros heterogêneos, caracterizados por apresentarem um heteroátomo na sua cadeia principal, que é um átomo diferente do carbono, como o oxigênio, enxofre, nitrogênio, entre outros. A exemplo, os poliésteres, como o PET, possuem uma ampla gama de aplicação e são utilizados na fabricação de garrafas plásticas, fibras têxteis, etc. Outros exemplos de polímeros heterogêneos são as poliamidas, podendo ser naturais ou sintéticas e os poliuretanos, utilizados como isolantes térmicos na forma de revestimentos (AKCELRUD, 2007).

Quanto ao método de preparação, os polímeros podem ser subdivididos em polímeros de adição e de condensação. Na polimerização de adição, moléculas menores (monômeros) reagem-se para formar os polímeros de alta massa molecular e na polimerização de condensação, além do próprio polímero, moléculas de baixo peso molecular, como a água, são formadas por meio da reação entre dois grupos funcionais reativos (AKCELRUD, 2007).

Quanto ao comportamento mecânico, os polímeros podem ser categorizados em plásticos, borrachas e fibras. Os plásticos são subdivididos em termoplásticos, os quais apresentam alta capacidade de serem moldados, podem ser fundidos diversas vezes de acordo com variação de temperatura e pressão e, por conta disso, são polímeros que podem ser reciclados e possuem uma ampla gama de aplicações. Como exemplo tem-se o PE, PP, PS e PVC (APARECIDA; AURELIO, 2005). Os plásticos também podem ser classificados como termorrígidos, que, ao contrário dos termoplásticos, só podem ser moldados uma vez, antes do pré-polímero passar pela etapa de cura; após esta etapa, o polímero enrijece e não retorna a sua forma original (PAOLI, 2008). Os termorrígidos são insolúveis e geralmente decompõem-se antes mesmo de fundirem, impossibilitando o processo de reciclagem, tais como o epóxi e a resina fenolformaldeído. Ainda dentro da classificação de plásticos, existem os baroplásticos, que são caracterizados por apresentarem um aspecto borrachoso e por possuírem alta elasticidade. Já os elastômeros (borrachas) são polímeros que possuem alta deformação e capacidade de retomar a sua forma original rapidamente. Como exemplo, tem-se as borrachas vulcanizadas, utilizadas principalmente em pneus. Por últimos, tem-se as fibras, identificadas como termoplásticos orientados, com alta resistência mecânica e uma relação de comprimento por diâmetro maior ou igual a 100. Dentre elas podem ser citadas os náilon e poliésteres (CANEVAROLO JR., 2013).

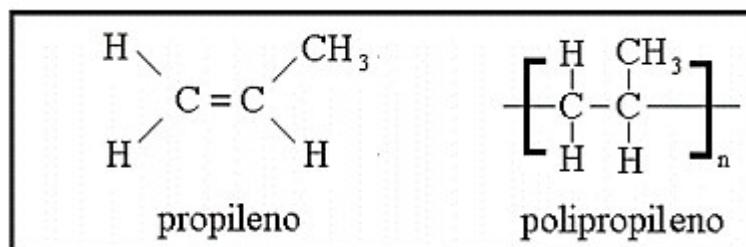
A classificação quanto ao desempenho mecânico pode ser dividida em polímeros termoplásticos convencionais, especiais, de engenharia e termoplásticos de engenharia especiais. Os termoplásticos convencionais, ou *commodities*, representam em torno de 90% dos polímeros utilizados atualmente, estes possuem um baixo custo e nenhuma diferenciação, pois as características deste componente são padrão, não exigindo nenhum requisito especial, e, por conta disso, seu processo de produção é simples e em larga escala. Já os termoplásticos especiais, exigem um nível mais alto em termos de propriedades do material, por isso possuem um alto custo. Os termoplásticos de engenharia apresentam alta rigidez, são estáveis e tenazes, sua aplicabilidade é bastante verificada em dispositivos mecânicos. Por fim, os termoplásticos de engenharia especiais detêm de uma alta estabilidade térmica e apresentam uma boa quantidade de anéis aromáticos em sua cadeia (CANEVAROLO JR., 2013).

2.1.1 Polipropileno (PP)

O polipropileno é um dos polímeros mais amplamente utilizados e que controla uma grande fração no mercado, perdendo somente para o polietileno e policloreto de vinila. O PP é caracterizado por ser um material bastante versátil e considerado um dos mais leves, apresenta uma alta temperatura de fusão quando posto em comparação aos polímeros termoplásticos de usos gerais (em torno de 160°C-170°C), possui também uma elevada resistência ao calor e a degradação em solventes orgânicos, é frágil em temperaturas abaixo da ambiente e tem uma boa resistência a fadiga (MAIER; CALAFAUT, 1998).

O polipropileno é formado a partir da reação de polimerização do propileno, no qual a cada dois átomos de carbono da cadeia principal liga-se um grupo metila (-CH₃), ilustrado na Figura 1. O polipropileno pode resultar em três formas diferentes quanto a sua estrutura: isotático, sindiotáctico e atáctico. O isotáctico possui todos os grupos metila em somente um lado do plano da estrutura, que é definida pelos átomos de carbono da cadeia principal. O sindiotáctico apresenta os grupos metila em lados alternados e atáctico é totalmente irregular quanto ao posicionamento das ramificações (JUNIOR, 2017).

Figura 1 - Fórmula estrutural das moléculas de propileno e polipropileno



Fonte: JUNIOR (2017)

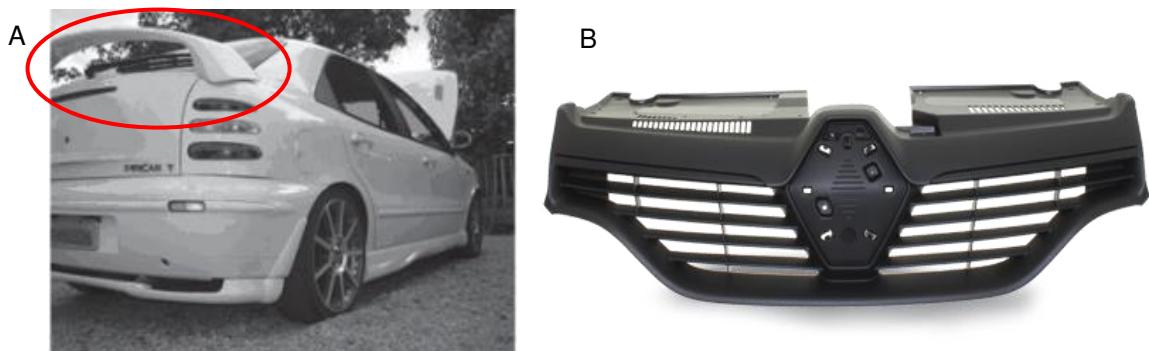
Com relação a morfologia e estrutura do polipropileno, este é considerado um polímero semi-cristalino, podendo variar seu grau de cristalinização e tipo de estrutura cristalina de acordo com as condições ambientes e de reação e a quantidade de aditivos presente. O PP pode ser classificado como atáctico, onde sua estrutura é irregular e amorfa, ou seja, a disposição das moléculas não segue uma orientação, são dispostas aleatoriamente. Também pode ser encontrado na forma semi-cristalina, apresentando um arranjo regular da sua cadeia (FOGLIATO SANTOS LIMA, 1998). O processo de cristalinização pode ocorrer tanto de maneira

espontânea como forçada, esta última é possível por meio de um agente externo. Este processo é realizado tanto por meio da evaporação do solvente (água) ou por meio da solidificação do material, que vai se tornando mais espesso à medida que se aproxima do estado sólido. Durante esta etapa, a taxa de nucleação do material aumenta ao passo que velocidade de crescimento do cristal é diminuída (MAIER; CALAFAUT, 1998).

O polipropileno é um polímero que além da sua alta capacidade de moldagem, também é facilmente reciclado. Este composto representa 21% em volume e 9% em peso de todo o resíduo sólido descartado, por conta disto, a pressão para a reciclagem deste material tem sido grande desde a década de 80, porém este processo ainda enfrenta algumas dificuldades, como na separação do material (MAIER; CALAFAUT, 1998).

Como já mencionado anteriormente, devido ao baixo custo e a versatilidade do polipropileno, ele possui ampla aplicação, representando cerca de 25% de todo o produto termoplástico consumido no Brasil (JUNKES, 2014). Tais produtos podem ser encontrados desde em componentes automotivos como ilustrados nas Figuras 2A e 2B, como em embalagens, em dispositivos médicos, na indústria têxtil, entre outras utilidades.

Figuras 2A e 2B – Spoiler e grade automotiva



Fonte - Figura 2A: RAMALHO; TEIXEIRA AYROSA (2009)

Fonte - Figura 2B: http://retrovex.com.br/?page_id=340

2.1.2 Poli(acrilonitrila-butadieno-estireno) (ABS)

Os polímeros ABS possuem uma estrutura formada a partir de um componente elastomérico presente em uma matriz vítreia constituída de

componentes termoplásticos, como um copolímero de estireno e acrilonitrila (SAN), apresentando, portanto, características como uma boa tenacidade (SANCHEZ; FERREIRA; FELISBERTI, 1996).

Este composto é também amplamente utilizado em dispositivos eletrônicos e na indústria automobilística, principalmente em componentes internos dos automóveis. O ABS, por conter uma fase elastomérica, possui também uma alta resistência ao impacto, característica bastante importante para a sua aplicabilidade no ramo automotivo. Outras propriedades deste material são a boa resistência química, a elevada rigidez e dureza, assim como uma alta resistência a tração (MURA et al., 2019).

O polímero pode ser produzido por reações de polimerização por emulsão e/ou polimerização em massa. Por meio desta última, o componente elastomérico é produzido separadamente da matriz, compondo cerca de 20% do peso do polímero, pois se ultrapassado este valor as condições de viscosidade tornam-se mais críticas.

Outras vantagens deste polímero são sua boa performance em comparação ao baixo custo e o fato de que este componente é compatível para adicionar revestimentos na sua superfície por meio de estampagem a quente (*hot stamping*) e impressão a tela (*silk screen*), podendo ser também metalizado e cromado (LANDI; GONDIM, 2003).

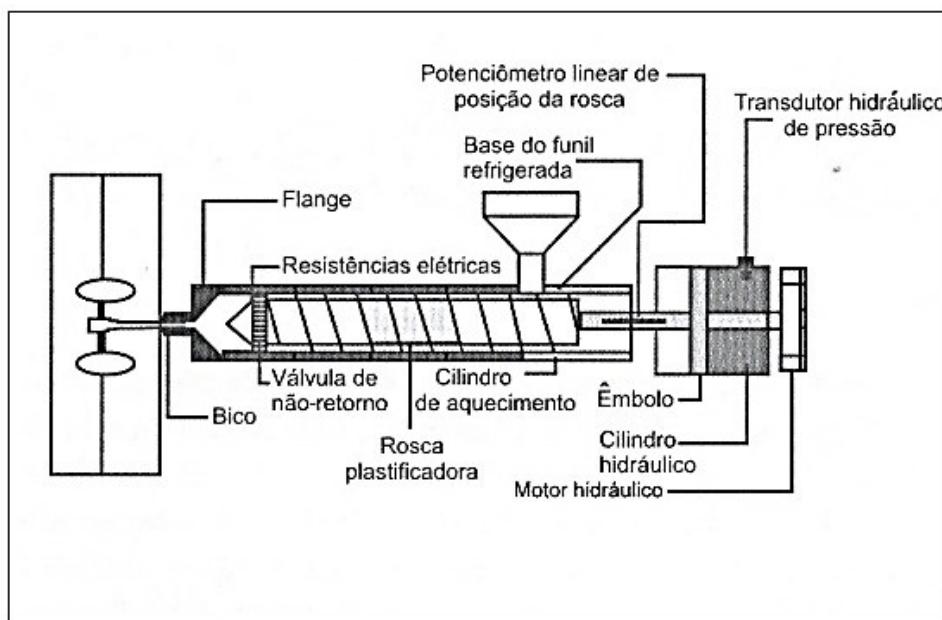
2.2 Processo de Injeção

O processo de injeção plástica é considerado um processo amplamente utilizado para a transformação de material polimérico em peças plásticas, devido a sua simplicidade, versatilidade e capacidade de se produzir peças com geometrias complexas em um curto ciclo de moldagem, produzindo desde equipamentos de cozinha, brinquedos, até peças de automóveis e aparelhagem médica (JUNIOR, 2017).

O processo é iniciado com a secagem e dosagem dos grânulos de matéria-prima (polímeros) que são direcionados para uma câmara cilíndrica aquecida por

resistências elétricas e equipada com um parafuso, o qual possui a finalidade de homogeneizador e plastificador da matéria-prima, conforme esquema apresentado na Figura 3. O polímero é então enviado para os canais de injeção, preenchendo as cavidades do molde e ganhando forma. O material é resfriado no molde até a sua solidificação. Uma das desvantagens deste processo é a perda de material que fica retido nos canais de injeção e são retirados na forma de galhos e varas, os quais são posteriormente reutilizados (TINO, 2005).

Figura 3 - Diagrama do processo de injeção plástica



Fonte: TINO (2005)

A injeção plástica apresenta alguns parâmetros que devem ser levados em consideração a fim de garantir uma boa eficiência do processo, são eles: tempo de preenchimento, caracterizado pelo tempo em que ocorre o completo preenchimento das cavidades do molde e que depende diretamente da velocidade do parafuso injetor (velocidade de injeção); o tempo de plastificação, o qual determina o tempo em que a matéria-prima virgem tem para entrar no estado fundido e deslocar o parafuso injetor com o objetivo de se iniciar o processo de produção da peça (TINO, 2005); pressão de injeção exercida sobre o material fundido a fim de que todas as cavidades do molde sejam preenchidas e a peça não apresente defeitos; a dosagem de recalque, que é determinada pela pressão exercida nos canais de injeção, geralmente constante, a fim de garantir a correta solidificação da matéria-prima fundida, compensando a contração do material; o tempo de recalque,

caracterizado pelo período em que a rosca exerce pressão sobre o material injetado; as temperaturas do molde e da máquina injetora, as quais interferem diretamente na temperatura do material; a temperatura do molde é controlada através da água circula em seus canais; o tempo de resfriamento, o qual está ligado ao tempo em que o material se mantém dentro do molde e passa do estado líquido (fundido) para o estado sólido; o tempo de ciclo de injeção, que compreende o início da injeção de uma peça até o início da seguinte, incluindo o tempo de retirada da peça do molde, também é um fator a ser monitorado; e por fim, a velocidade de injeção caracteriza pela velocidade em que o parafuso/rosca pressiona o material a ser injetado (GALDÁMEZ, 2002).

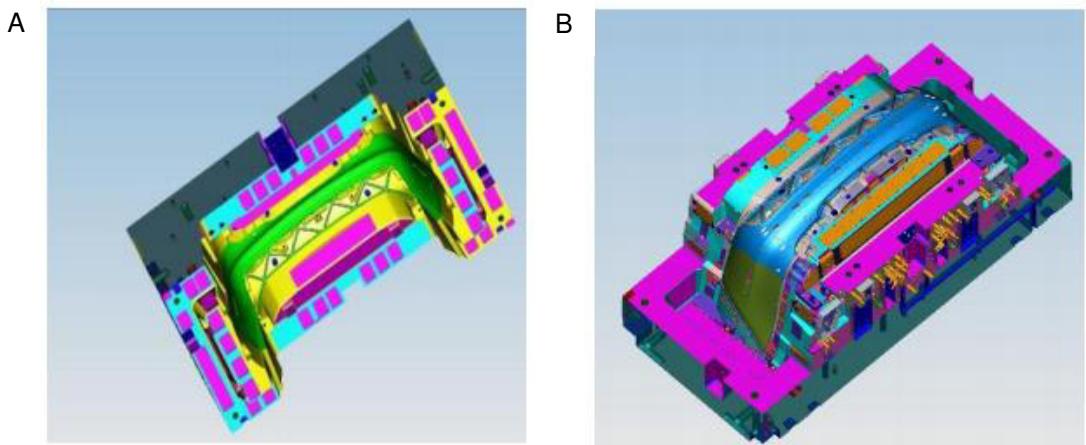
2.3 Moldes

Os moldes são ferramentas amplamente utilizadas para a produção de peças plásticas de diferentes texturas, formatos e graus de complexidade.

A escolha da geometria e materiais do molde se deve de acordo com diversos fatores como tempo de ciclo, nível de qualidade da peça, tanto dimensional como estrutural, menor gasto com manutenção, boa reproduzibilidade das peças, capacidade de resfriamento do polímero e facilidade de extração do produto. Existem alguns tipos de moldes, porém o mais convencional e utilizado para a produção de peças automotivas, que será o enfoque deste trabalho, é o de duas placas. O molde de duas placas possui a parte fixa, também conhecida como cavidade ou fêmea (ilustrada na Figura 4B), e a parte móvel ou macho (ilustrada na Figura 4A). A placa fixa é ligada a máquina injetora e representa o lado externo da peça (parte visível), já a placa móvel é responsável pela abertura do molde e extração da peça (GONÇALVES, 2014).

O material pode entrar tanto pelo bico injetor como por vários pontos da peça e o sistema de extração da peça pode ser tanto um sistema hidráulico pertencente a máquina de injetora quanto um sistema pertencente ao molde e alimentado pela máquina (MOREIRA, 2015).

Figuras 4A e 4B - Macho e cavidade de um molde



Fonte: GONÇALVES (2014)

Outro fator que pode ser variável na escolha no molde é o seu número de cavidades. Esta condição depende de parâmetros como a geometria, qualidade, custo e demanda da peça, bem como aspectos estruturais da máquina injetora. Além disso, a posição das cavidades também influencia na confecção da peça, visto que todas as cavidades devem ser preenchidas ao mesmo tempo, não podendo apresentar gradientes de temperatura do polímero fundido ao longo do molde. Ademais, o comprimento dos canais também não deve ser alto, pois assim evita-se que o material retorne por eles. A distância entre as cavidades também varia de acordo com o número de canais de refrigeração e de pinos de extração, com a finalidade de que o molde suporte a pressão do processo de injeção, fazendo com que a soma das forças de reação converja para o centro de gravidade das placas. (DIAS, 2008)

Como já citado anteriormente, o processo de injeção está sujeito a ocorrência de defeitos e falhas nas peças produzidas e diversas podem ser as causas destes defeitos. É necessário que todas as variáveis que influenciam o processo sejam controladas, como temperaturas, pressões, tempos, parâmetros relacionados a máquina injetora, ao molde, ao polímero, assim como as variáveis que estão sob controle do operador, como questões de manutenção, a própria habilidade, experiência e domínio de conhecimento técnico (BLASIO, 2007).

No Quadro 1 estão apresentados alguns dos defeitos mais frequentes gerados do processo de injeção com suas características e possíveis causas.

Quadro 1 - Defeitos do processo de injeção plástica, suas características e possíveis causas.

Defeito	Características	Possíveis Causas
Empenamento	- Alteração de geometria na peça; - Alteração de ângulo.	- Resfriamento rápido da peça; - Mistura inadequada de matéria-prima.
Marcas de Fluxo	- Imperfeições devido ao fluxo de gás.	- Pouco tempo de secagem da matéria-prima; - Variação da temperatura do molde; - Velocidade equivocada; - Molde deficiente.
Rechupes e vazios	- Lacunas/espaços vazios nas peças	- Contração equivocada do polímero; - Variação da temperatura do molde; - Clima.
Rebarbas	- Porção excedente de material.	- Baixa força de fechamento; - Elevada temperatura do molde; - Alta pressão de recalque; - Alta velocidade do processo.

(Continua)

Quadro 1 - Defeitos do processo de injeção plástica, suas características e possíveis causas (continuação).

Defeito	Características	Possíveis Causas
Moldagem incompleta ou falhada	- Peças incompletas	<ul style="list-style-type: none"> - Aprisionamento de gases no molde; - Molde longo; - Baixa pressão e velocidade de injeção; - Baixa quantidade de material injetado; - Controle incorreto da temperatura do polímero.
Esguichamento	- Caminhos ondulados na peça	<ul style="list-style-type: none"> - Alta velocidade e pressão de expulsão do material; - Baixa temperatura do polímero.
Linha de soldagem	- Linha formada pelo encontro de diferentes fluxos de material fundido	<ul style="list-style-type: none"> - Alta viscosidade do material; - Alta temperatura do polímero; - Baixa velocidade de injeção; - Baixa pressão de injeção e de recalque.
Contração muito alta	- Peça com dimensional menor	- Parâmetros incorretos do processo e da matéria-prima.

(Conclusão)

Fonte: BLASIO (2007)

2.3.1 Empenamento

O empenamento é um defeito que gera alteração de geometria na peça injetada, ou seja, uma distorção na sua forma. Este defeito altera as características dimensionais e ângulos da peça e pode ser bastante crítico para o setor automotivo, visto que cada peça é fabricada com as dimensões milimetricamente exatas para serem encaixadas facilmente junto com outras peças no carro, não podendo ficar

nenhum vazio. Algumas causas deste defeito estão no fato do resfriamento da peça ocorrer de forma equivocada, muitas vezes retirando a peça ainda quente do molde. As contrações não-uniformes da peça, as tensões residuais, a mistura inadequada de matéria-prima e a própria estrutura da peça e do molde podem ser responsáveis pelo empenamento (BLASIO, 2007).

2.3.2 Marcas de Fluxo

As marcas de fluxo são imperfeições que podem aparecer na superfície da peça devido tanto a problemas de fluxo de gás. Algumas das causas que podem ser citadas são o tempo insuficiente do processo de secagem da matéria-prima, a variação da temperatura do molde durante o processo e a velocidade ou molde deficiente (BLASIO, 2007).

2.3.3 Rechupes e Vazios

Os rechupes e vazios são defeitos caracterizados por lacunas geradas no momento do resfriamento e solidificação do material, causados pela contração do polímero. O rechupe é encontrado na superfície na peça e os vazios são identificados como bolhas internas. Fatores como a variação da temperatura do molde ou até mesmo o clima também podem ocasionar a ocorrência de rechupes ou vazios (BLASIO, 2007).

2.3.4 Rebarbas

As rebarbas são consideradas um dos defeitos mais comuns do processo de injeção. É caracterizada por uma porção excedente matéria-prima que “vaza” do molde através das linhas de abertura e fechamento do molde. É um defeito bastante visível e que pode ser retirado manualmente da peça. Alguns dos fatores causadores deste defeito são a baixa força de fechamento, as altas temperaturas

do polímero e do molde, a excessiva pressão de recalque e velocidade de injeção (BLASIO, 2007).

2.3.5 Moldagem Incompleta ou Falhada

Há a possibilidade de ocorrência de falhas nas peças devido ao não preenchimento completo do molde com o material gerando peças incompletas. Este tipo de defeito ocorre majoritariamente em partes afastadas dos pontos de injeção caso o molde apresentar um comprimento longo ou próximo a depressões. Algumas das causas estão relacionadas ao fato de gases ficarem aprisionados no molde ou fatores como baixa pressão e velocidade de injeção, baixa quantidade de material que foi introduzido na cavidade ou um controle incorreto da temperatura do polímero (SREEDHARAN; JEEVANANTHAM, 2018).

2.3.6 Esguichamento

O defeito conhecido como esguichamento pode ocorrer quando o material é expelido com uma velocidade muito alta e uma alta pressão, criando caminhos ondulados pelo material. Este comportamento turbulento do material pode alterar propriedades mecânicas e químicas, ao passo que uma baixa temperatura do polímero também pode ocasionar este defeito (BLASIO, 2007).

2.3.7 Linha de Soldagem

O defeito caracterizado como linhas de solda deve-se ao encontro de fluxo de material fundido provenientes de diferentes pontos. O material se separa e, posteriormente, se encontra e forma uma emenda, essa emenda é visível e denominada linha de solda. Alguns fatores causadores deste defeito são a alta viscosidade do material, alta temperatura do molde, porém, em contrapartida, uma baixa temperatura do polímero, baixa velocidade de injeção e baixa pressão, tanto de injeção como de recalque. Com relação a estrutura do sistema de injeção, a

geometria incorreta do parafuso e bloqueio do bico injetor também podem causar problemas de linhas de solda (SREEDHARAN; JEEVANANTHAM, 2018).

2.3.8 Contração Muito Alta

Ao finalizar o processo de injeção, cada tipo de material ainda pode sofrer redução do seu dimensional mesmo após a etapa de resfriamento. Cada polímero possui um índice de contração diferente e se essa contração for muito alta pode gerar problemas no processo de montagem, entre outros. Este defeito pode ser identificado tanto por fatores relacionados a própria matéria-prima como ao processamento incorreto.

2.4 Ferramentas da Qualidade

Para a análise dos dados coletados foram utilizadas ferramentas da Qualidade como o gráfico de Pareto e o Diagrama de Ishikawa.

2.4.1 Gráfico de Pareto

O diagrama de Pareto é um gráfico em barras no qual as causas do problema são levantadas e dispostas em ordem crescente de ocorrência ou influência. Essas causas podem ser desdobradas até se chegar em um nível de detalhe mais aprofundado e com a finalidade de se encontrar a causa raiz (LINS, 1993). Esta ferramenta tem por finalidade priorizar os problemas e atacar suas principais causas para que se obtenha a máxima eficiência na sua resolução.

2.4.2 Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou diagrama espinha de peixe, foi idealizado pelo engenheiro Kaoru

Ishikawa. Esta ferramenta tem por finalidade identificar as causas de um problema detectado e desdobrá-las até que a maior gama possível de motivos seja levantada, geralmente em uma reunião de *brainstorm*, onde objetiva-se juntar informações e explorar ideias e o pensamento criativo e em equipe, expondo-as de uma maneira gráfica e fácil de visualizar (DOBRUSSKIN, 2016). O diagrama tem o formato de uma espinha de peixe e é dividido em seis grupos: máquinas, materiais, métodos, mão-de-obra, meio-ambiente e medida, os quais auxiliam na organização e estruturação do levantamento das possíveis causas do problema em questão. Outras vantagens desta ferramenta consistem no fato de que ela é bastante efetiva na identificação das possíveis causas, segue a premissa de que é necessário embasar-se em dados para comprovar a veracidade das possíveis causas apontadas, exige um bom nível de entendimento da equipe sobre o assunto e pode ser utilizada para diversas aplicações, apresentando um uso bastante genérico (LINS, 1993).

Figura 5 - Representação gráfica do Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Autora

2.5 SAP

Os valores de custos obtidos neste trabalho foram analisados por meio do software SAP, o qual foi criado por uma empresa alemã em 1972 com o intuito de integrar em uma única ferramenta todo o processo de uma empresa em tempo real, obtendo uma base de dados centralizada capaz de rastrear e auxiliar na visualização de informações de todo o fluxo produtivo, podendo ser acessado por meio de diferentes transações. O SAP utiliza o sistema ERP, uma metodologia

utilizada para o planejamento dos recursos da empresa, que permite gerar esse banco de dados centralizado e dar suporte ao negócio (COCCA et al., 2018).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou como método de pesquisa a Pesquisa Ação. Esta metodologia que possui uma base empírica e tem o intuito de coletar dados e testar hipóteses sobre um acontecimento com o intuito de identificar um problema coletivo e, desta forma, buscar e implementar soluções para o caso observado (KRAFTA et al., 2009).

Neste estudo foi realizada a coleta de dados de uma indústria de peças automotivas do Vale do Paraíba, cujo nome não será mencionado por questões de sigilo de dados internos.

A linha de produção de um para-choque dianteiro foi monitorada por um período de cinco meses (Julho a Novembro de 2018), para que desta maneira fossem retiradas informações mais assertivas devido ao ganho de estabilidade no processo. Este modelo de produto foi escolhido devido a sua quantidade expressiva de peças produzidas, sua relevante participação de lucros na empresa e alto índice de rejeitos.

Foram obtidas as informações do status da peça, se ela está aprovada (A) ou rejeitada (R), o tipo de defeito, caso a peça for rejeitada, a quantidade de peças defeituosas para cada defeito e data da coleta da informação.

Em seguida, foi realizada a análise dos dados por meio das ferramentas gráfico de Pareto, onde os defeitos foram priorizados conforme criticidade e, posteriormente, através do diagrama de Ishikawa, onde foram levantadas as causas das não-conformidades apontadas. As causas para o problema em questão também foram identificadas com uma equipe multidisciplinar por meio de uma reunião de *brainstorming*, traduzido como “tempestade de ideias”, onde um grande volume de novas ideias e soluções de problemas são levantadas, sem julgamento, em um grupo de pessoas, explorando assim o potencial de criatividade dos indivíduos/grupo. Após esta análise, foi elaborado um plano de ação com propostas de soluções e melhorias para a redução da perda de peças, que muitas vezes são descartadas devido a estes defeitos. Foram também levantadas as informações de custos gerados pelo atual índice de peças rejeitadas por meio do software SAP.

Como etapa final, foram implantadas ações que impactaram diretamente nas principais não-conformidades detectadas. Posteriormente, foi levantado o número de peças defeituosas após a etapa de injeção plástica e foi obtido por meio do software SAP o custo destas peças considerando o novo índice de rejeito. Por fim, foram feitas análises de comparação do custo de rejeito por peça produzida antes e depois das ações realizadas. Neste custo foi contemplado o custo de transformação da peça injetada até o instante do descarte, sem considerar o processo de pintura subsequente e o custo de matéria-prima não foi levado em consideração visto que ela pode ser reaproveitada ou vendida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coleta de Dados

Após a saída das peças das máquinas injetoras e seu direcionamento para a área de inspeção, foram coletados os dados descritos na Tabela 1, os quais exibem o número de peças defeituosas (*scrap*) por mês e a quantidade total após o período de cinco meses (Julho a Novembro de 2018) para cada tipo de defeito detectado (colunas “n° scrap”), assim como a porcentagem de peças defeituosas para cada tipo de defeito com relação ao número total de peças produzidas e injetadas naquele mês e o valor total correspondente após os cinco meses (colunas “%scrap/peças injetadas”). Adicionalmente, a penúltima coluna da Tabela 1 (“%scrap/total scraps”) indica a porcentagem total de peças rejeitadas (*scrap*) por tipo de defeito pelo número total de peças defeituosas (*scrap*) no período de Julho a Novembro de 2018 e essa mesma porcentagem acumulada (coluna “%scrap acumulado”). Estes valores tiveram como base uma produção de 17.895 peças durante este período, divididas por mês em 4.022, 4.277, 4.130, 3.583 e 1.883 peças, respectivamente, entre Janeiro e Julho de 2018.

A significativa redução na quantidade de peças produzidas e injetadas no mês de Novembro deve-se ao fator de sazonalidade da venda de carros nas montadoras, tendo uma demanda bastante reduzida no últimos meses do ano.

Tabela 1 – Quantidade de peças defeituosas (*scrap*) por tipo de defeito e porcentagem de *scrap* por total de peças injetadas no período de Julho a Novembro de 2018.

Tipos de Defeitos	Jul/18		Ago/18		Set/18		Out/18		Nov/18		Total			
	nº scrap	scrap/ peças injetadas (%)	nº scrap	scrap/ peças injetadas (%)	scrap/ peças injetadas (%)	scrap/ total scraps (%)	scrap acumulado (%)							
Rebarbas	59	1,5	73	1,7	68	1,6	76	2,1	32	1,7	308	1,7	37,2	37,2
Danificado pelo operador	55	1,4	65	1,5	57	1,4	43	1,2	22	1,2	242	1,4	29,2	66,4
Linhas de fluxo	24	0,6	26	0,6	22	0,5	19	0,5	11	0,6	102	0,6	12,3	78,7
Linhas de soldagem	18	0,4	12	0,3	16	0,4	12	0,3	5	0,3	63	0,4	7,6	86,4
Injeção incompleta	11	0,3	5	0,1	9	0,2	9	0,3	5	0,3	39	0,2	4,7	91,1
Rechupes e vazios	4	0,1	4	0,1	8	0,2	7	0,2	0	0,0	23	0,1	2,8	93,8
Empenamento	2	0,0	4	0,1	3	0,1	7	0,2	3	0,2	19	0,1	2,3	96,1
Contração muito alta	0	0,0	2	0,0	4	0,1	2	0,1	3	0,2	11	0,1	1,3	97,5
Bolhas	0	0,0	5	0,1	2	0,0	3	0,1	1	0,1	11	0,1	1,3	98,8
Contaminação/poluição	0	0,0	2	0,0	3	0,1	3	0,1	1	0,1	9	0,1	1,1	99,9
Testes/ensaios	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0,1	100,0
Total	173	4,3	199	4,7	192	4,6	181	5,1	83	4,4	828	4,6	-	-

Fonte: Autora

Por meio do software SAP, também foram coletados os valores de custo de produção de cada peça injetada que foi rejeitada devido aos defeitos mencionados anteriormente por mês (Julho a Novembro de 2018), assim como os valores totais, expressos na Tabela 2.

Adicionalmente, tendo em vista que o custo total de produção das 17.895 peças durante o período de Julho a Novembro de 2018 foi de R\$ 617.500,30, o custo unitário médio de produção de cada peça injetada, já desconsiderando as 828 peças descartadas foi de R\$ 36,18.

Tabela 2 - Custo de scrap por tipo de defeito no período de Julho a Novembro de 2018.

Tipos de Defeitos	Jul/18	Ago/18	Set/18	Out/18	Nov/18	Total
	Custo Scrap (R\$)					
Rebarbas	2.071,18	2.632,27	2.491,03	2.689,95	1.113,31	10.997,74
Danificado pelo operador	1.775,20	2.150,05	1.906,88	1.522,74	726,38	8.081,25
Linhas de fluxo	809,57	884,07	782,72	681,36	365,04	3.522,76
Linhas de soldagem	646,32	410,67	560,78	392,10	174,15	2.184,02
Injeção incompleta	382,11	164,29	292,03	312,20	162,10	1.312,73
Rechupes e vazios	121,68	141,68	276,29	231,26	0,00	770,91
Empenamento	72,36	146,65	98,47	240,46	110,46	668,40
Contração muito alta	0,00	69,37	132,26	69,14	98,36	369,13
Bolhas	0,00	166,79	70,86	106,99	34,42	379,06
Contaminação/poluição	0,00	64,97	104,22	102,42	34,14	305,75
Testes/ensaios	0,00	34,55	0,00	0,00	0,00	34,55
Total	5.878,42	6.865,36	6.715,54	6.348,62	2.818,36	28.626,29

Fonte: Autora

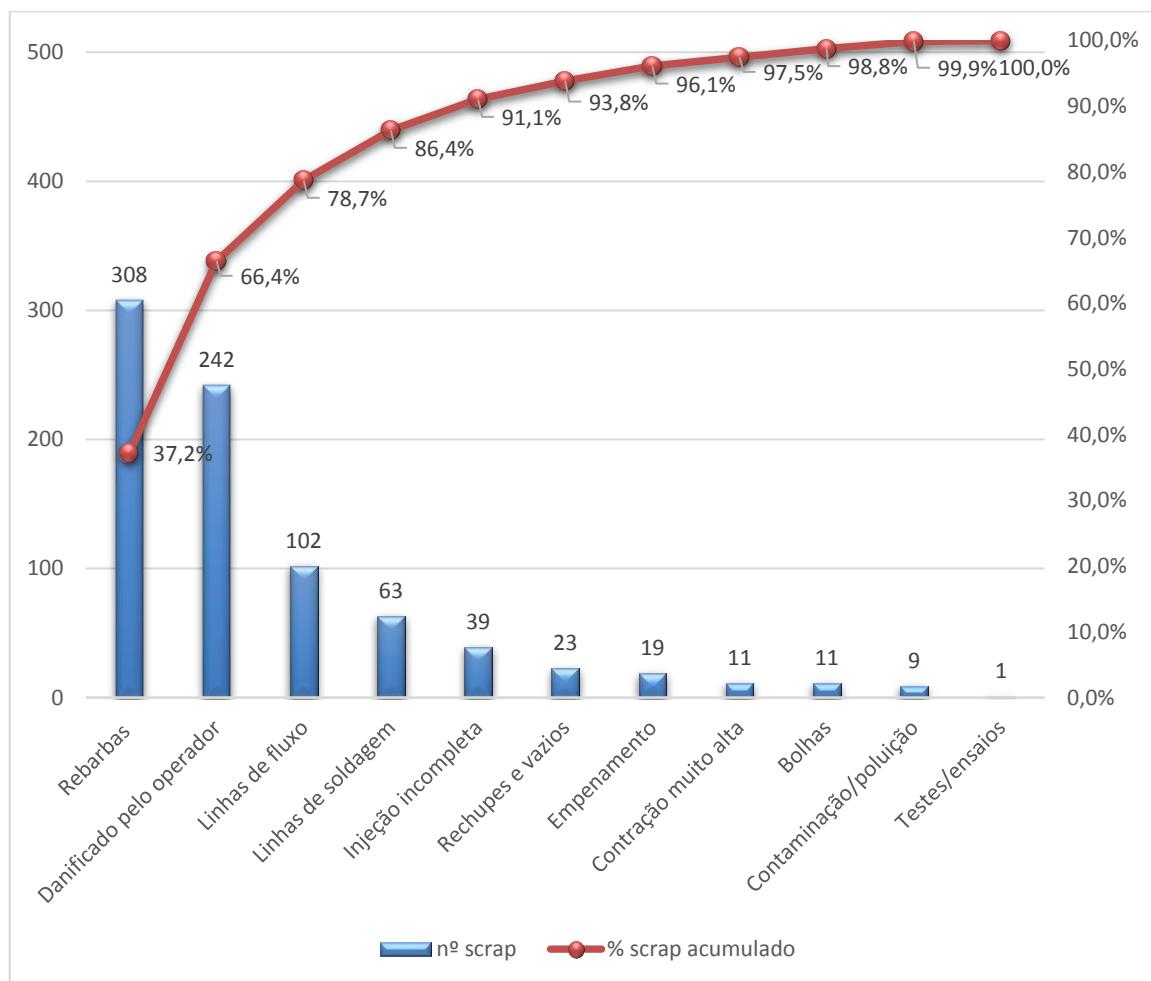
4.2 Análise de Dados

A partir dos dados coletados e apresentados, foram utilizadas duas ferramentas da Qualidade para elencar e priorizar os principais defeitos detectados neste processo, ou seja, os de maior ocorrência, assim como foram identificadas suas principais causas.

4.2.1 Gráfico de Pareto

A Figura 6 apresenta o Diagrama de Pareto com os dados obtidos do processo de injeção plástica e análise do índice de peças defeituosas provenientes deste processo no período de Julho a Novembro de 2018.

Figura 6 - Gráfico de Pareto representando o nº de scrap e a porcentagem de scrap acumulado no período de Julho a Novembro de 2018.



Fonte: Autora

Analisando a Figura 6, foi possível observar que os três defeitos de maior ocorrência representaram quase 80% do total de defeitos deste processo. Desta forma, o índice de rebarbas foi o defeito majoritário, seguido por danos causados pelo operador, como batidas, riscos na peça, entre outros, e, posteriormente, por linhas de fluxo.

4.2.2 Diagrama de Ishikawa

Dentre os defeitos mais relevantes apontados no item 4.2.1, foram selecionados os cinco de maior ocorrência, os quais representam cerca de 90% do total de defeitos, para que fosse realizado um estudo das suas principais causas raízes por meio de um *brainstorming* e pela ferramenta de Ishikawa. Contudo, foi dado um maior enfoque para os dois primeiros de maior incidência (rebarbas e danos causados pelo operador), visto que juntos possuem uma representatividade muito significativa, gerando, desta forma, ações mais eficazes para solucionar o problema em questão.

As Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 elencam as principais causas identificadas, separadas de acordo com as categorias do Diagrama de Ishikawa.

Figura 7 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de rebarbas.

Máquinas:

- Alta temperatura do molde;
- Excesso de fluido injetado;
- Pressão de injeção inadequada;
- Força de fechamento do molde insuficiente;
- Folga nos pinos guias do molde;
- Resíduos de resina entre as partes do molde;
- Faces planas do molde não estão alinhadas e limpas.

Meio ambiente:

- Não houve indícios de causas relacionadas ao meio ambiente.

Mão-de-obra:

- Treinamento insuficiente ou ineficiente para os operadores;
- Operadores não executam processo de acordo com a instrução de trabalho;
- Falta de motivação por parte dos funcionários;

Métodos:

- Padronização de parâmetros da máquina fora do especificado;
- Velocidade do processo de injeção muito elevada;
- Elevada pressão de recalque.

Materiais:

- Matéria-prima contaminada com impurezas;
- Matéria-prima com umidade elevada;
- Diminuição abrupta da viscosidade da matéria-prima.

Medidas:

- Não houve indícios de causas relacionadas a medidas.

Rebarbas

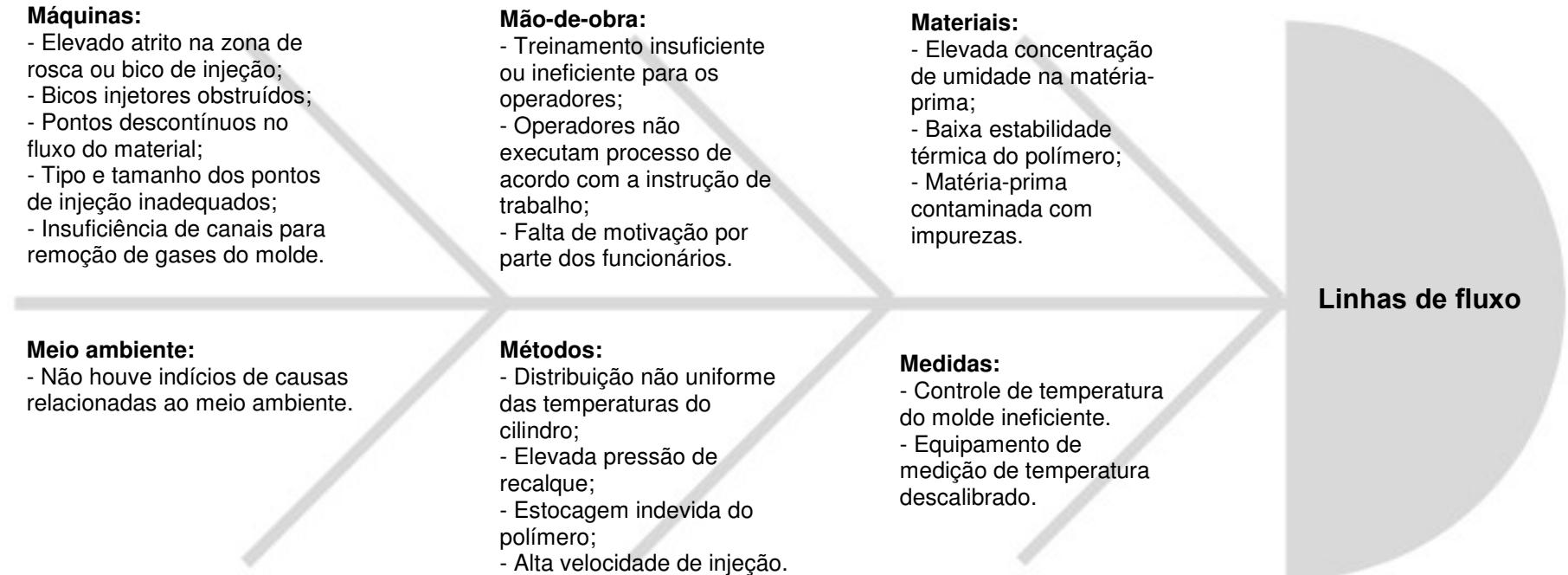
Fonte: Autora

Figura 8 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para danos causados pelo operador.



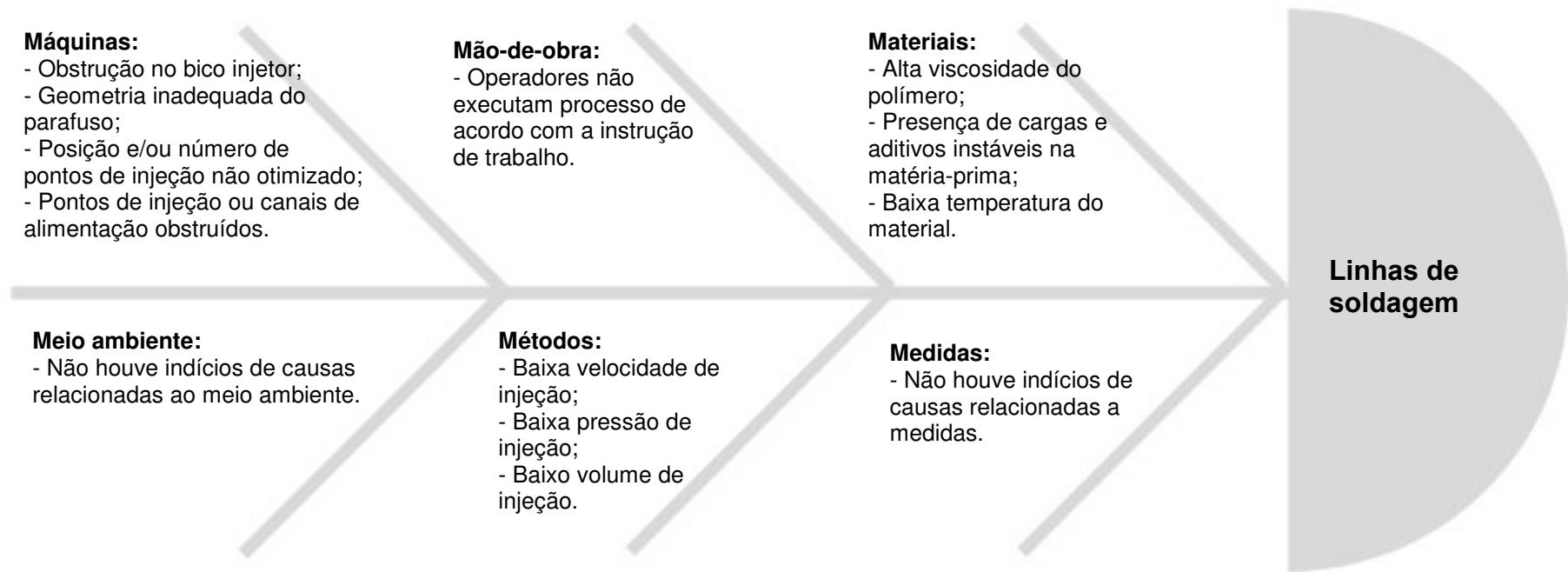
Fonte: Autora

Figura 9 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de linhas de fluxo.



Fonte: Autora

Figura 10 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de linhas de soldagem.



Fonte: Autora

Figura 11 – Causas elencadas segundo Diagrama de Ishikawa para o defeito de linhas de injeção incompleta.



Fonte: Autora

4.3 Ações Propostas para Melhoria

Após levantamento e análise dos principais fatores responsáveis pela ocorrência de peças defeituosas geradas por problemas de injeção plástica neste processo, foram selecionadas algumas ações capazes de reduzir o índice de *scrap* (peças com defeitos), objetivando ter o menor custo com investimentos, dentre elas estão:

- ✓ Plano de treinamento intensivo para os funcionários, buscando orientar, conscientizar e mostrar de forma clara o impacto do seu trabalho no processo, tendo em conta que o envolvimento da equipe é fundamental para a responsabilização por parte dos colaboradores;
- ✓ Calibração de todos os equipamentos de medição;
- ✓ Revisão e atualização das instruções de trabalho;
- ✓ Plano de treinamento para gestores, a fim de melhorarem suas habilidades de liderança e motivação do time;
- ✓ Aplicação de mantas de borracha impermeáveis no ambiente de armazenagem da matéria-prima, impossibilitando que poeiras ou qualquer partícula contaminante caia sobre o material, assim como evita a absorção de umidade;
- ✓ Diminuição gradual (de forma escalonada) da temperatura do molde durante o processo;
- ✓ Manutenção regular do molde a fim de ajustar os pinos guia, alinhar as fases do molde e limpar os bicos injetores e canais de alimentação.

4.4 Análise dos Dados e Custos Pós-melhoria

Durante os cinco meses (Novembro de 2018 a Abril de 2019) de implementação das ações acima citadas, foram coletados novamente os dados que representam o número de peças defeituosas (*scrap*) por tipo de defeito, assim como a sua representatividade (%) em relação ao total de peças injetadas e a porcentagem total de *scrap* por cada tipo de defeito em relação a quantidade total de *scrap* no período acima citado, expressos na Tabela 3.

Estes valores tiveram como base uma produção de 12.392 peças durante este período, divididas por mês em 629, 2.130, 3.510, 3.250 e 2.873 peças, respectivamente, entre Dezembro de 2018 e Abril de 2019.

A redução expressiva de volume de peças produzidas no mês de Dezembro foi causada majoritariamente por ser um mês em que houve férias coletivas dos funcionários, houve parada da produção para limpeza e manutenção da fábrica, assim como parada para controle do inventário (contagem de estoque).

Tabela 3 - Quantidade de peças defeituosas (*scrap*) por tipo de defeito e porcentagem de *scrap* por total de peças injetadas pós-melhoria.

Tipos de Defeitos	Dez/18		Jan/19		Fev/19		Mar/19		Abr/19		Total		
	nº scrap	scrap/ peças injetadas (%)	nº scrap	scrap/ peças injetadas (%)	scrap/ scrap/total scraps (%)								
Rebarbas	7	1,1	32	1,5	38	1,1	31	1,0	26	0,9	134	1,1	39,4
Danificado pelo operador	7	1,1	25	1,2	32	0,9	24	0,7	19	0,7	107	0,9	31,5
Linhos de fluxo	2	0,3	5	0,2	9	0,3	8	0,2	6	0,2	30	0,2	8,8
Linhos de soldagem	1	0,2	3	0,1	3	0,1	4	0,1	4	0,1	15	0,1	4,4
Injeção incompleta	2	0,3	1	0,0	4	0,1	3	0,1	3	0,1	13	0,1	3,8
Rechupes e vazios	0	0,0	4	0,2	1	0,0	4	0,1	3	0,1	12	0,1	3,5
Empenamento	0	0,0	3	0,1	2	0,1	4	0,1	0	0,0	9	0,1	2,6
Contração muito alta	0	0,0	2	0,1	3	0,1	1	0,0	1	0,0	7	0,1	2,1
Bolhas	0	0,0	2	0,1	2	0,1	3	0,1	0	0,0	7	0,1	2,1
Contaminação/poluição	0	0,0	1	0,0	3	0,1	1	0,0	0	0,0	5	0,0	1,5
Testes/ensaios	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,0	0,3
Total	19	3,0	78	3,7	97	2,8	83	2,6	63	2,2	340	2,7	-

Fonte: Autora

Foram extraídos do SAP e indicados na Tabela 4, os custos obtidos com cada peça defeituosa produzida e rejeitada após a implementação das ações de melhoria durante o período de Dezembro de 2018 a Abril de 2019, assim como os custos totais deste período de cinco meses.

Adicionalmente aos custos apresentados, para a implementação das ações de melhorias apresentadas, foi necessário um gasto de R\$ 600,00 com a manta de borracha para o isolamento apropriado da matéria-prima durante o armazenamento. Somando este custo ao custo total de produção das 12.392 peças durante o período Dezembro de 2018 a Janeiro de 2019, obteve-se um valor total de R\$ 426.975,82, portanto, o custo unitário médio de produção de cada peça injetada, já desconsiderando as 340 peças descartadas, foi de R\$ 35,43.

Tabela 4 - Custo de scrap por tipo de defeito pós-melhoria.

Tipos de Defeitos	Dez/18	Jan/19	Fev/19	Mar/19	Abr/19	Total
	Custo Scrap (R\$)					
Rebarbas	240,81	1.020,44	1.330,74	993,77	818,14	4.403,90
Danificado pelo operador	240,96	842,68	1.102,15	795,69	662,76	3.644,24
Linhas de fluxo	60,84	173,66	297,81	273,25	210,19	1.015,75
Linhas de soldagem	30,42	91,20	104,27	121,62	134,79	482,30
Injeção incompleta	69,02	33,73	133,09	101,86	102,40	440,10
Rechupes e vazios	0,00	143,93	34,16	126,52	92,70	397,31
Empenamento	0,00	98,25	64,51	134,63	0,00	297,39
Contração muito alta	0,00	67,46	99,27	34,14	34,15	235,02
Bolhas	0,00	69,76	68,40	102,35	0,00	240,51
Contaminação/poluição	0,00	34,28	104,27	33,95	0,00	172,50
Testes/ensaios	0,00	0,00	0,00	0,00	31,65	31,65
Total	642,05	2.575,39	3.338,67	2.717,78	2.086,78	11.360,67

Fonte: Autora

4.5 Comparação Antes e Pós-melhoria

Comparando os resultados do processo antes e depois das ações de melhoria implementadas, pode-se observar que houve uma redução de 1,9% no índice total de scrap por número total de peças injetadas, caindo de 4,6% para 2,7%. Nota-se que os defeitos que tiveram maior índice de redução foram os dois de maior ocorrência – rebarbas e danificados pelo operador, compreendendo uma diminuição de 3,1% para 1,9% de *scrap* com tais defeitos por número de peças injetadas.

Com relação ao ganho financeiro deste processo, considerando um custo total de R\$ 617.500,30 com peças injetadas no início do projeto, levando em conta uma produção de 17.875 peças produzidas, e após a execução das ações de melhoria, o custo foi para R\$ 426.975,82, tendo em vista uma produção de 12.392 peças injetadas e já levando em conta um investimento de R\$ 600,00 com a manta de borracha, pode-se concluir que o custo médio por peça injetada anteriormente era de R\$ 36,18 e após a implantação das ações propostas reduziu para R\$ 35,43, havendo uma redução de 2,08% no custo de cada peça, comprovando, desta forma, a eficiência do projeto em questão.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que este trabalho possibilitou o estudo do processo de injeção plástica de uma indústria de peças automotivas, assim como foi possível identificar os principais tipos de defeitos em para-choques de carro provenientes deste processo de fabricação. Foram também detectadas as causas majoritárias destas não-conformidades e ações de melhoria foram tomadas, reduzindo o número de peças defeituosas, assim como o custo proveniente deste problema.

Conclui-se ainda que após a etapa de medição, foram identificados onze tipos de defeitos de injeção plástica, dentre os quais foram estudados os cinco de maior incidência: rebarbas, danos causados pelos operadores, linhas de fluxo, linhas de soldagem e injeção incompleta. Por meio da análise destes problemas, foi possível implementar ações de melhorias, como por exemplo um plano intensivo de treinamentos para operadores e gestores, o que gerou, após cinco meses, uma redução de 1,9% na taxa de peças defeituosas que eram descartadas, ocasionando uma economia de 2,08% no custo unitário de peças não-conformes, atingindo, desta forma, os objetivos propostos inicialmente neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BADELL'S COLLISION. **The Evolution of Bumpers: An Auto Safety Apparatus.** Disponível em: <<https://www.badellscollision.com/blog/evolution-of-bumpers/>>. Acessado em: 18/03/2019

AKCELRUD, L. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros.** Barueri: Manole, 2007.

APARECIDA, M.; AURELIO, M. **A TECNOLOGIA DA RECICLAGEM DE POLÍMEROS.** v. 28, n. 1, p. 65–72, 2005.

BLASIO, C. A. De. **Solução de Defeitos na Moldagem por Injeção de Termoplásticos.** 2007. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/263408/1/DeBlasio_CarlosAnibal_M.pdf>. Acessado em: 21/03/2019

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** São Paulo: Artliber, p. 51-54, 2013.

COCCA, P. et al. **Business Software Offer for Industry 4.0:the SAP case.** IFAC-PapersOnLine, v. 51, n. 11, p. 1200–1205, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.427>>. Acessado em: 23/03/2019

DIAS, K. P. **Proposta de modelo para a gestão do conhecimento no projeto de moldes de injeção.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DOBRUSSKIN, C. **On the identification of contradictions using Cause Effect Chain Analysis.** v. 39, p. 221–224, 2016.

FOGLIATO SANTOS LIMA, M. **POLIPROPILENO ISOTÁTICO MODIFICADO VIA RECOZIMENTO E DEFORMAÇÃO PLÁSTICA: ESTUDO DA MORFOLOGIA E COMPORTAMENTO TÉRMICO.** 1998. Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GALDÁMEZ, E. **Aplicação das Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos No Processo de Fabricação de Produtos Plásticos.** 2002. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

GONÇALVES, C. M. **Novas Técnicas e Ferramentas para operações de Montagem e Afinação de componentes na indústria de moldes para Injeção Termoplástica: Moldes de Azeméis - MDA.** 2014. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

JUNIOR, J. C. M. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIPROPILENO EP448R INJETADO COM ADIÇÃO DO POLIPROPILENO**

REPROCESSADO EM PERCENTUAIS MENORES QUE 50% EM PESO. 2017.

JUNKES, V. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO PP INJETADO EM MOLDE PROTÓTIPO EM ZAMAC-8 VISANDO A OBTENÇÃO DE PROTÓTIPOS FUNCIONAIS.** 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

KRAFTA, L. et al. **O Método da Pesquisa-Ação: um estudo em uma empresa de coleta e análise de dados.** Revista Quanti & Quali, p.1-4, 2009.

LANDI, T.; GONDIM, L. **Estudo do Efeito da Radiação Ionizante com Feixe de Elétrons Sobre O Terpolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS.** Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, p. 107–118, 2003.

LINS, B. F. E. **Ferramentas básicas da qualidade.** Ciência da Informação. v. 22, n.2, p. 153-161, 1993.

MAIER, C.; CALAFAUT, T. **Polypropylene - The Definitive User's Guide and Databook.** 1st. ed. Norwich: Plastics Design Library, 1998.

MALAGUETA, D. C.; DE MEDINA, H. V. **O Desafio da Reciclagem de Plásticos Automotivos.** 2013. Inic. Científica (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MOREIRA, M. **Projeto de molde para a injeção de peça plástica complexa para a indústria automóvel.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.

MURA, A. et al. **Investigation about tribological behavior of ABS and PC-ABS polymers coated with graphene.** Tribiology International, v. 134, n. October 2018, p. 335–340, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.02.017>>. Acessado em: 01/04/2019

PAOLI, M. De. **DEGRADAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE POLÍMEROS.** 2^a versão on-line (revisada), São Paulo: Artliber, p. 197 - 205, 2008.

RAMALHO, R.; TEIXEIRA AYROSA, E. A. **Subcultura Tuning : a identidade estendida na personalização de automóveis.** Revista de Ciências da Administração, v. 11, n. 24, p. 169-194, 2009.

SANCHEZ, E. M. S.; FERREIRA, M. M. C.; FELISBERTI, I. **Avaliação da Degradação Térmica e Fotooxidativa do ABS Automotivo.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 9, n. 4, p. 116 - 122, 1996.

SREEDHARAN, J.; JEEVANANTHAM, A. K. **Optimization of Injection Molding Process to Minimize Weld-line and Sink-mark Defects Using Taguchi based Grey Relational Analysis.** Materials Today: Proceedings, v. 5, n. 5, p. 12615–12622, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.244>>. Acessado em: 05/04/2019

TINO, V. F. **Utilização de análise de componentes principais na regulagem de**

máquinas de injeção plástica. 2005. 79 p. Tese (Pós-graduação de Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.