



**REDUÇÃO DO REFUGO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO FTIR *FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY* EM PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DO PLÁSTICO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE EMBALAGENS.**

**WASTE REDUCTION THROUGH THE APPLICATION OF THE FTIR *FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY* METHOD IN PLASTIC TRANSFORMATION PROCESSES: A CASE STUDY IN A PACKAGING COMPANY**

**Fernando Henrique Custódio Bastos<sup>1</sup> i**  
**Kerley Cristiane Victorino Romão<sup>2</sup> ii**

Data de submissão: (07/12/2023) Data de aprovação: (12/12/2024)

**RESUMO**

A indústria nacional de embalagens plásticas possui um destaque importante nossa sociedade, ela agrega inúmeras tecnologias e está sempre em busca novos elementos que possam prover o desenvolvimento de seu setor. Deste modo fazer um estudo sobre como ela lida com os pontos que envolvem o controle de seus processos, sobretudo em como ela trata as questões relacionadas a eliminação das perdas ligadas a fabricação de seus produtos se mostra importante. O presente estudo, busca apresentar uma análise em uma empresa embalagens, que utiliza o processo de sopro, como base para seus processos de transformação do plástico, para atender o mercado do agronegócio. Para isso, foi utilizado algumas ferramentas da qualidade e o FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) visando realizar a caracterização do material polimérico para compreender os elementos causadores de perdas dentro de seu processo produtivo. Com estes dados em mão foi possível traçar estratégias para a redução das perdas dentro do processo, causando um aumento na produtividade e evitando desperdícios. – será corrigido após a adição do item 3.4 com os resultados do teste FTIR.

**Palavras-chave:** controle de perdas; processo de sopro; embalagens plásticas; diagrama de Ishikawa.

**ABSTRACT**

The national plastic packaging industry plays an important role in our society, it adds numerous technologies and it's always looking for new elements to provide the development of its sector. Therefore, doing a study on how it deals with the points that involve the control of its processes, especially in how it handles with issues related to the elimination of losses related to the manufacture of its products, proves to be of great importance. The present study seeks to present an analysis within a packaging company, which uses the blowing process as a basis for its plastic transformation processes, to serve the agribusiness market. For that, some quality tools and FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) were used in order to perform the characterization of the polymeric material to understand the causing

<sup>1</sup> Pós-graduado na Faculdade de Tecnologia SENAI Mario Amato. E-mail: [fernandovelaplast@gmail.com](mailto:fernandovelaplast@gmail.com)

<sup>2</sup> Professora na Faculdade de Tecnologia SENAI Mario Amato. E-mail: [kerley.romao@sp.senai.br](mailto:kerley.romao@sp.senai.br)

elements of losses within its production process. With these data at hand, it was possible to devise strategies to reduce losses within the process, causing an increase in productivity and avoiding waste.

**Keywords:** loss control; blowing process; plastic packaging; Ishikawa diagram.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria pode ser considerada com um dos grandes destaques de nossa sociedade atual, um elemento significativo e histórico responsável por boa parte do processo do desenvolvimento humano e social.

Neste sentido vale destacar a indústria do plástico, um setor importante para o Brasil, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) o setor obteve um faturamento R\$ 78 bilhões de reais, sendo responsável por algo em torno de 10% do PIB nacional, isso pode ser sentido na geração de emprego que nos últimos anos ela conseguiu empregar 312 mil trabalhadores. (ABIPLAST, 2019)

Segundo a ABIPLAST (2019), o plástico é sinônimo de inovação, inserido no produto do presente e do futuro, portanto, um suporte para a competitividade de diversos setores, como o automotivo, de agronegócios, eletrônicos, construção civil e alimentos. Por conta disso, ela não está isenta das constantes transformações pelas quais passam a sociedade, em um processo de retroalimentação a indústria enquanto muda a sociedade ela também é influenciada e impulsionada a novas mudanças em seus processos. Em decorrência destas mesmas transformações, que vem crescendo nos últimos anos por conta das evoluções constantes da tecnologia, o acirramento e a competitividade cada vez mais forte no mercado.

Conforme indica Gorgulho (2018), em se tratando do mercado de embalagens pode-se considerar como um segmento estratégico para muitas empresas e em diversos segmentos, pois uma embalagem adequada pode agregar valor em toda a sua cadeia de produção. Dentro deste cenário, um dos pontos que podem ser destacados está relacionado em como a indústria atua em seus processos de produção de maneira que a tornem mais competitiva.

Deste modo, fazer um estudo sobre como ela lida com os elementos que envolvem o controle de seus processos, sobretudo em como ela trata as questões relacionadas ao aumento de sua produtividade, atuando na eliminação de possíveis perdas ligadas a seus métodos de fabricação, pode ser um ponto importante para melhorar sua produtividade e destaque no mercado.

O presente estudo, apresenta uma análise em uma empresa fabricante de embalagens plásticas rígidas, que utiliza o processo de sopro, como base para seus processos de transformação do plástico, para atender o mercado do agronegócio. A proposta é utilizar algumas ferramentas da qualidade como o caso do Diagrama de Ishikawa, Gráfico de Pareto, para encontrar a causa da formação de pontos protos encontrado no processo de embalagens, algo reduz a produtividade e aumenta os custos de produção. Para a caracterização do material polimérico encontrado (pontos pretos) foi utilizada a técnica de FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 O Mercado de Embalagens Plásticas no Brasil

O mercado de embalagens no Brasil pode ser considerado rico em diversidade, desde o uso tecnológicas para sua elaboração, sua estrutura econômica (composta de empresas nacionais ou multinacionais), fazendo o uso de diversas matérias-primas como o vidro, papelão, plástico, metal entre outros.

A indústria brasileira de embalagens reúne empresas nacionais e multinacionais com operações globais capazes de atender aos diferentes mercados, contribuindo para harmonizar, entre estes, os parâmetros de qualidade, tecnologias, funcionalidade e tendências. Este setor é caracterizado por ter uma cadeia produtiva bem estruturada, que inclui: fabricantes de máquinas e equipamentos para a produção das embalagens e o processo de envase dos produtos; fabricantes de matérias-primas (exemplos: resinas plásticas, chapas metálicas, celulose, barrilha), insumos (fornecedores de adesivos, tintas, pigmentos e vernizes) e acessórios (fabricantes de tampas, lacres, fitas, rótulos); fabricantes de recipientes; empresas de transporte e logística. Além destas, outras empresas e instituições públicas ou privadas oferecem o suporte necessário para que a indústria de embalagens funcione adequadamente. (Gorgulho, 2018, p.5)

Por conta disso, é importante compreender o mercado ao qual cada segmento da indústria de embalagens está inserido e suas reais necessidades para que seja possível desenvolver soluções que possam atender a esta gama de diversidade. Isso porque, como indica Gorgulho (2018), as embalagens podem ser utilizadas por uma ampla variedade de setores, para viabilizar a identificação, distribuição e comercialização dos seus produtos, mantendo a segurança e a conservação. Desta forma, a indústria de embalagens torna-se essencial à sociedade moderna.

Dentro do que foi apresentado destaca-se o setor de embalagens plásticas no Brasil, por conta de sua importância dentro do cenário econômico nacional, segundo dados da Associação Brasileira de Embalagens (ABRE), conforme figura 1, entre os anos de 2016 até 2020 ocorre uma alta na representatividade dos ganhos no setor, apresentando uma boa taxa crescimento, demonstrando a solidez deste segmento de mercado. (ABRE, 2020).

Figura 1 - Valor bruto da produção em bilhões de reais



Fonte: ABRE, 2020

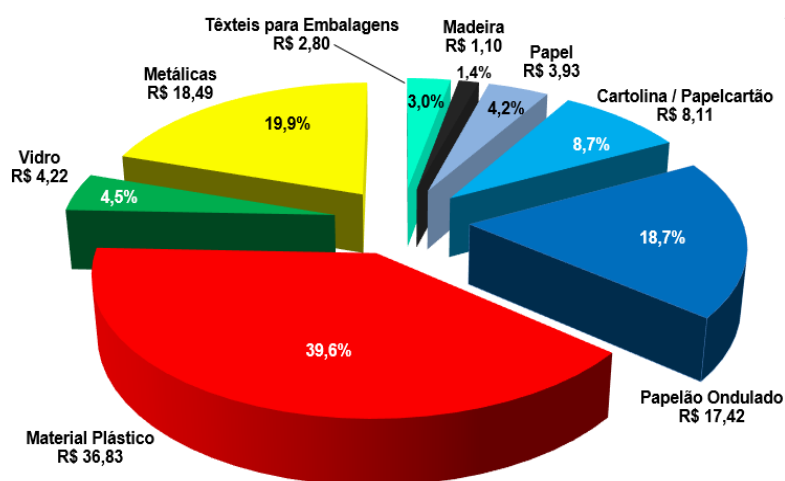
Com essa rentabilidade pode ser demonstrado sua importância para a economia nacional, outro ponto de destaques está, por exemplo, ligada a geração de emprego, segundo dados da ABRE (2020) este segmento gerou até dezembro de 2020, algo em torno de 230 mil postos de trabalho, algo que impacta diretamente na vida de tantos brasileiros.

As embalagens plásticas constituem uma grande variedade de opções que possibilitam uma adequada adaptação e dimensionamento da embalagem ao produto, tornando-as altamente competitivas em relação aos demais materiais.

Segundo dados da ABRE, (2020), os plásticos representaram a maior participação no valor da produção de embalagens no Brasil, correspondendo a 39,6% do total.

Conforme pode ser observado na figura 2, o setor de embalagens possui uma significativa representatividade no mercado em comparação a outras modalidades de embalagens.

**Figura 2 - Valor bruto da produção por segmento**



Fonte: ABRE, 2020

Fica perceptível a importância de se compreender os elementos que estão envolvidos dentro da estrutura fabricação destas embalagens, por conta de sua relevância para o mercado nacional.

## 2.2 Fabricação de Embalagens

As embalagens plásticas possuem uma variedade de funções que a tornam elementos importantes dentro da cadeia produtiva de muitas empresas, onde seu papel principal está relacionado com as suas funções de facilitar o armazenamento, transporte, o manuseio e a preservação de uma gama variada de produtos (Gonçalves, 2022).

Além disso, outros pontos devem ser considerados, conforme indica Gorgulho (2018) é preciso observar alguns aspectos importantes no desenvolvimento de embalagens, seus aspectos técnicos, que estão relacionados diretamente aos materiais utilizados (resinas), processo produtivo, funcionalidade, econômicos, regulatórios (legislação e certificações), ambientais, mercadológicos, estéticos e culturais.

Na prática, os processos que fazem parte da fabricação das embalagens estão ligadas intimamente a vários fatores que relacionam as necessidades do mercado ao qual a empresa está inserida e as condições de uso da própria embalagem.

Em outras palavras, pode-se dizer que a embalagem faz parte de um conjunto de operações e processos que podem variar desde o uso de materiais, equipamentos e mão de obra, tendo como finalidade de acondicionar, proteger, facilitar o uso, agregar valor, de transportar o produto acabado até os pontos de venda e de utilização, atendendo as necessidades da população, proporcionando a segurança à mesma (Rossi, 2004 *apud*. Cerqueira, 2021).

Este estudo propõe o uso do diagrama de Ishikawa, para compreender os motivos das perdas por pontos pretos dentro do processo de sopro, em especial na fabricação de embalagens plásticas rígidas. Com o objetivo de apresentar uma possível solução para a mitigação deste problema.

### **2.3 Produção de Embalagens Plásticas**

O princípio de moldagem por sopro foi originalmente desenvolvido e trabalhado na indústria do vidro para a fabricação de garradas, potes e outros tipos de materiais. Entretanto, após o desenvolvimento dos materiais plásticos e criação das primeiras máquinas sopradoras para este material, a indústria passou a utilizá-los em larga escala para a fabricação de produtos soprados. (Lopes e Nunes, 2014 *apud*. Cerqueira, 2021).

Segundo Cerqueira (2021) pode-se afirmar que os processos de moldagem por sopro mais importantes são extrusão-sopro e injeção-sopro, cada qual com o seu método particular, com o objetivo único de produzir peças ocas a partir de matérias-primas termoplásticas.

O processo de extrusão-sopro é composto por dois subprocessos, que juntos fazer formar as embalagens, de um lado temos o processo de extrusão e do outro o sopro.

As definições destes sub processos serão tratados nos tópicos a seguir.

#### **2.3.1 Processo de Extrusão**

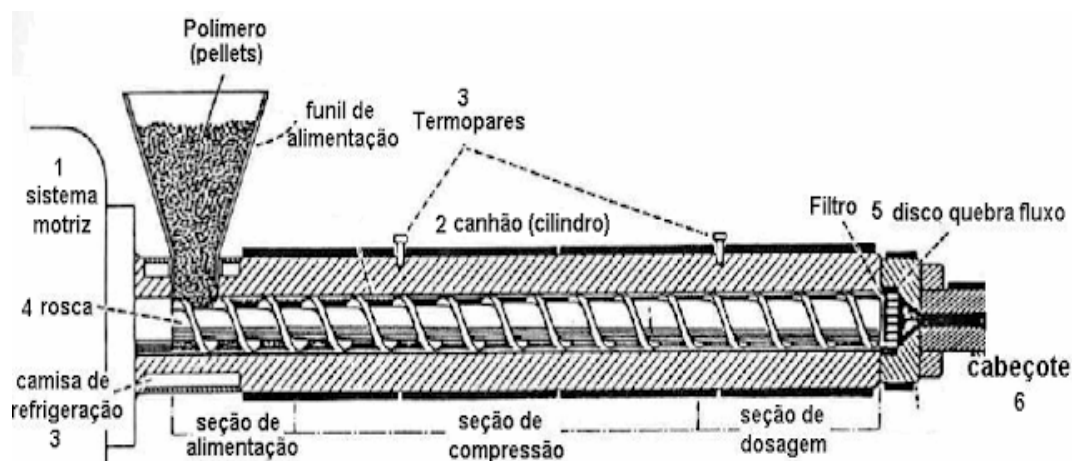
O processo de extrusão pode ser considerado um elemento fundamental para o processo de fabricação de embalagens plásticas, é nele que a resina irá sofrer suas primeiras interferências.

A extrusão consiste basicamente na alimentação do material polimérico na forma de grãos ou em pó, por meio de um funil conectado ao barril do conjunto de extrusão (cilindro/rosca). Por meio da atuação do movimento de uma rosca sem fim, o polímero, que foi alimentado, é transportado e durante este percurso ao longo da rosca, o material é aquecido, fundido, homogeneizado, comprimido e finalmente forçado a passar por uma abertura na extremidade de saída, denominada matriz. (Pereira, 2009 *apud*. Cerqueira, 2021)

O ponto-chave do processo de extrusão está ligada ao conjunto do canhão/rosca, estes elementos serão os responsáveis não apenas pelo transporte do fundido até a chegada ao cabeçote e posteriormente ao molde, é na rosca que a resina plástica será fundida, homogeneizada e plastificada, através da sua movimentação e consequente do cisalhamento do material, a rosca consegue gerar cerca de 80% da energia térmica necessária para a transformação dos polímeros em uma massa homogênea que será capaz de se transformar posteriormente em uma gama variada de produtos. (Britto, 2015)

A figura 3 apresenta um exemplo de extrusora e seus principais componentes.

Figura 3 – Sistema de extrusão



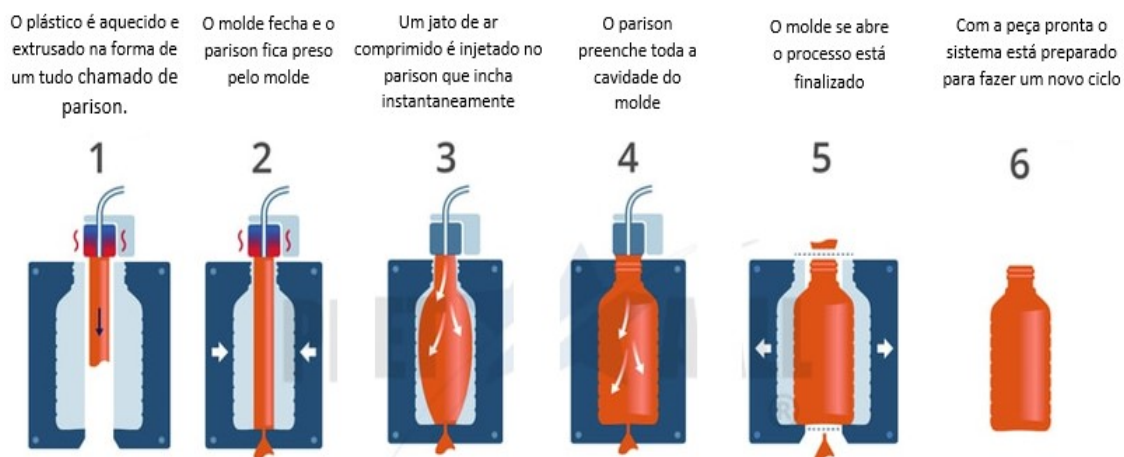
Fonte: Britto, 2015

A partir das reações termomecânicas que ocorrem dentro do ambiente da rosca, a matéria-prima bruta (os polímeros) são transformados para dar origem a inúmeros produtos, por conta disso este processo influencia e muito nos processos de fabricação, por conta disso a rosca pode ser considerada o componente-chave, pois é através da sua extensão que o material passa pelos fenômenos térmicos e mecânicos envolvidos no processo. (Rodrigues, 2018)

### 2.3.2 Processo de Sopro

Segundo Ferreira (2017), para o processo de moldagem por sopro, é necessário um segmento oco de material plástico em formato de mangueira, mais conhecido como *parison* (um tubo formado a partir da extrusão da resina plástica sob alta temperatura e pressão), este tubo é inserido no molde, o ar soprado por uma abertura, este ar faz com que o *parison* se expanda e toque nas paredes do molde fazendo o trabalho de dar conformidade a peça que se deseja produzir, após um processo de resfriamento dentro do molde a peça se solidifica e está pronta para ser ejetada, conforme a figura 4.

Figura 4 – Processo de Sopro



Fonte: Adaptado pelo autor de Ferreira (2017).

Em posse destas informações se pode compreender um pouco do funcionamento básico do sistema de moldagem por sopro, porém ele carece de outras informações, como, por exemplo, de que maneira é formado o *parison*, algo fundamental e que dá o complemento para o processo de sopro.

#### **2.4 As Ferramentas da Qualidade**

Dentro do contexto empresarial, cada organização deve buscar de maneira contínua a qualidade e melhoria de seus processos e produtos, visando sempre a eficiência e eficácia de seus métodos de fabricação. As ferramentas para alcançar estes objetivos são diversas, cabendo a cada organização escolher os melhores caminhos possíveis adequando estes elementos a suas necessidades e recursos disponíveis. (Oliveira, 2018)

Neste sentido, o uso de certos instrumentos é importante para atingir os objetivos e metas de qualquer organização, fazendo assim sua aplicação como facilitadoras na análise e estudo de casos diversos, principalmente, pois seus usos podem ser o ponto de partida para a melhoria contínua de seus processos, mitigando perdas e ampliando a assertividade na resolução de problemas. (Lima *et al.*, 2020)

Em se tratando de ferramentas da qualidade pode-se afirmar que existe uma variedade de métodos que podem facilitar o entendimento de qualquer processo produtivo, ainda assim sete destas ferramentas são consideradas essenciais: diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito, histogramas, folhas de verificação, cartas de controle, gráficos de dispersão e fluxogramas. (Guerreiro, 2012).

Outro ponto de destaque importante sobre o uso destas ferramentas, conforme indica Guerreiro (2012), é importante destacar que estas ferramentas foram criadas não para uso isolado, mas para serem combinadas. Juntas, elas permitirão mapear processos, identificar os defeitos em produtos e serviços, rastrear as suas causas e corrigi-las.

Para este estudo, optou-se por se trabalhar 4 destas ferramentas (fluxograma, cartas de controle, diagrama de Pareto e diagrama de Ishikawa ou de causa e efeito) de maneira a buscar e identificar os elementos que estão sendo os causadores de perdas dentro do processo produtivo.

No quadro abaixo pode-se observar as principais funções das 4 ferramentas da qualidade que serão utilizadas no desenvolvimento do artigo.

**Quadro 1 – As ferramentas da qualidade**

<b>Ferramentas da Qualidade</b>	<b>Função</b>
Fluxograma	Descrever processos
Cartas de Controle	Permitem coletar dados (número de peças defeituosas, por exemplo) de forma organizada e sistemática
Diagrama de Ishikawa	Uma ferramenta que esquematiza e se assemelha a uma espinha de peixe, onde são listados as causas e sub causas relacionadas com os problemas das organizações, conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe. É uma poderosa ferramenta visual que categoriza as possíveis ideias de por ocorrer o fracasso.
Diagrama de Pareto	É um gráfico em barras que organiza os dados do maior para o menor, direcionam a atenção para itens importantes (usualmente o maior contribuidor). É a ferramenta mais utilizada e indica a frequência de cada causa ou falha ocorrida

Fonte: Adaptado de Guerreiro (2012); Vieira e Passos (2018).

### 3 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em uma empresa produtora de embalagens plásticas que utiliza o processo de fabricação por extrusão/sopro. Com o objetivo de se encontrar as razões das perdas de produtividade na fabricação de embalagens, causadas pelo aparecimento de pontos pretos no material.

A fim de se compreender as causas de perdas na linha de produção da empresa, foram utilizadas duas ferramentas da qualidade para a identificação do problema. Temos o Diagrama de Pareto, para auxiliar o levantamento dos dados necessários para identificar os motivos que mais se destacam em se tratando de perdas no processo e o Diagrama de Ishikawa, usado para reconhecer os elementos que compõem o processo de fabricação da embalagem e de como cada um deles possa estar contribuindo como geradores da perda.

Para a caracterização dos pontos pretos foi utilizado a técnica FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

A seguir serão apresentados alguns dados importantes para compreensão do uso das ferramentas da qualidade.



### 3.1 Caracterização da Empresa

A empresa em média possui uma produção que chega a bater até dois milhões de embalagens produzidas ao mês, transformando assim aproximadamente de 400 toneladas de polietileno. Foi escolhida uma de suas linhas de produção da bombona de 20L.

**Figura 5 – Bombona de 20L**



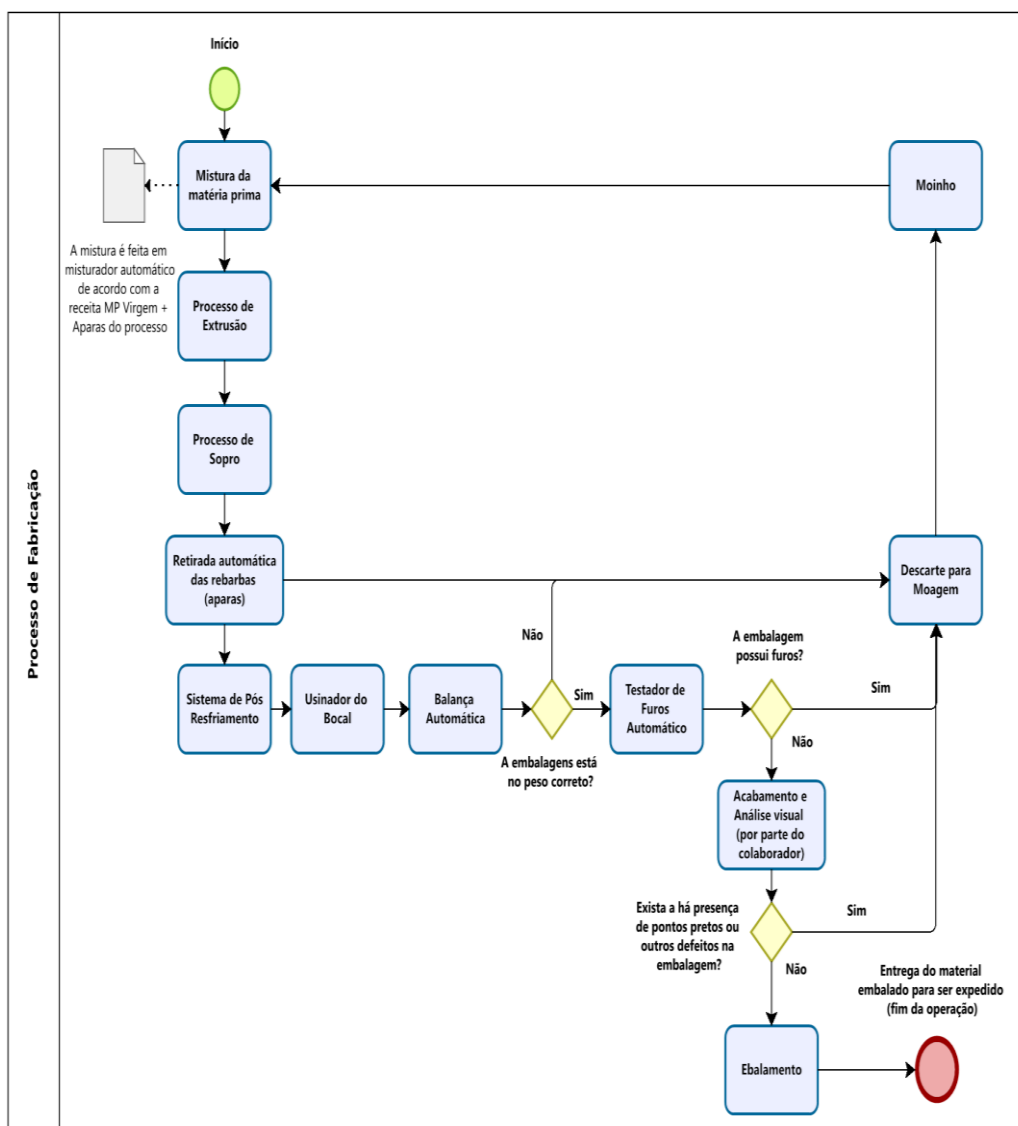
Fonte: Acervo do autor

A escolha do produto está relacionada às perdas de produtividade da linha de produção devido ao aparecimento de pontos pretos na embalagem, algo que gera um volume alto de perdas e prejudica rentabilidade do produto.

### 3.2 O Processo Produtivo

Compreender como funciona o processo de fabricação da embalagem pode ajudar na identificação dos pontos onde possa estar ocorrendo as falhas que estão causando as perdas, para assim tratar o problema de maneira mais assertiva.

Para tanto, conforme figura 6, foi elaborado o fluxograma simplificado do processo de fabricação da embalagem para se ter uma melhor visão dos possíveis pontos de falha que possam estar interferindo para o aparecimento da sujidade na embalagem.

**Figura 6 - Fluxograma do processo de produção**


Fonte: Elaborado pelo autor

Com este detalhamento do processo de fabricação apresentado foi possível compreender alguns elementos importantes:

1. O processo de fabricação é feito em um circuito fechado, ou seja, tanto as aparas de processo quanto as perdas em outras atividades retornam para o processo em forma de material moído no próprio equipamento.
2. A mistura da matéria-prima é realizada de forma automática no equipamento.
3. O colaborador é o responsável pela análise visual da qualidade do produto.

As análises deste tema são importantes para um melhor entendimento do processo e os possíveis pontos de falha na forma de se caracterizar os elementos causadores de perda dentro do processo de produção.

### 3.3 Levantamento de Dados do Processo Produtivo

Para realizar o levantamento de dados sobre o que motiva as perdas dentro do processo, foi utilizado uma ficha de verificação para a identificação dos possíveis motivos de perda dentro do processo, conforme exemplo a seguir:

**Quadro 2 - Modelo de ficha de controle**

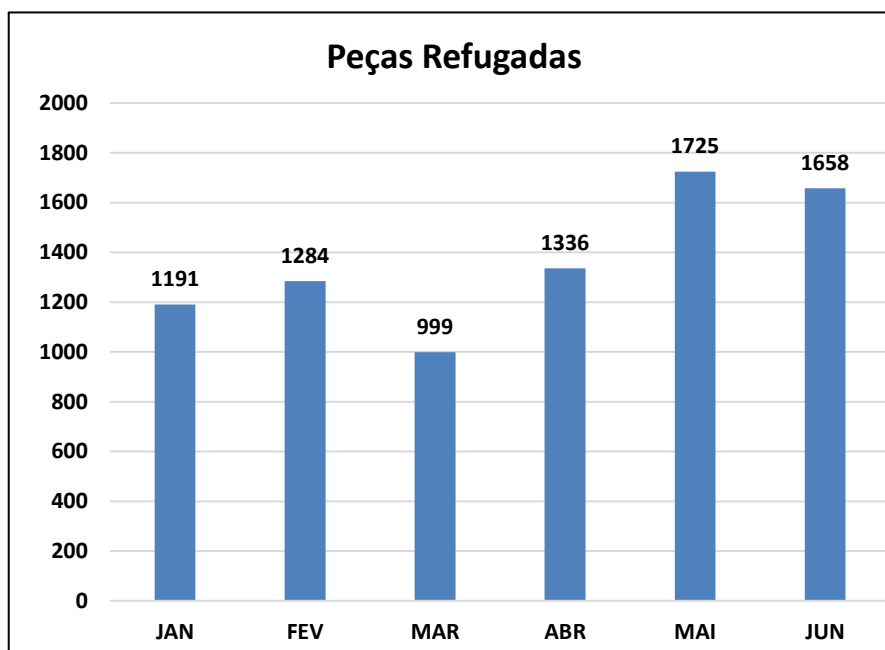
Motivo	Quant	Motivo	Quant	Motivo	Quant
Perdas por bolha		Perdas por sujidade		Perdas por problemas na alça	
Perdas por variação da rebarba e peso		Perdas problema na solda		Perdas por bocal	
Perdas por marca de gel/grumo		Perdas por risco		Perdas por amassamento	

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a coleta dos dados, foi solicitado aos colaboradores da produção que realizassem a anotação de suas perdas de produção na ficha de controle. Com isso foi possível identificar o volume e os maiores motivos para as perdas ao longo do processo. A coleta de dados ocorreu entre os meses de janeiro e junho do ano de 2021.

Após a coleta dos dados, foi realizada a retirada das informações mais relevantes, transformando os dados brutos coletados em elementos observáveis de estudo. Para isso os dados foram tabulados e organizados de forma gráfica para uma melhor visualização do problema, como seguem na apresentação a seguir.

Os dados foram organizados em um primeiro momento referenciando os volumes totais de perdas por mês conforme o gráfico 1.

**Gráfico 1 - Controle de Perdas**

Fonte: Elaborado pelo autor

Diante destas informações foi realizado um maior aprofundamento nos dados coletados, conforme tabela 1, onde foi realizada a identificação das perdas por tipo de problema.

**Tabela 1 - Índice por Problemas**

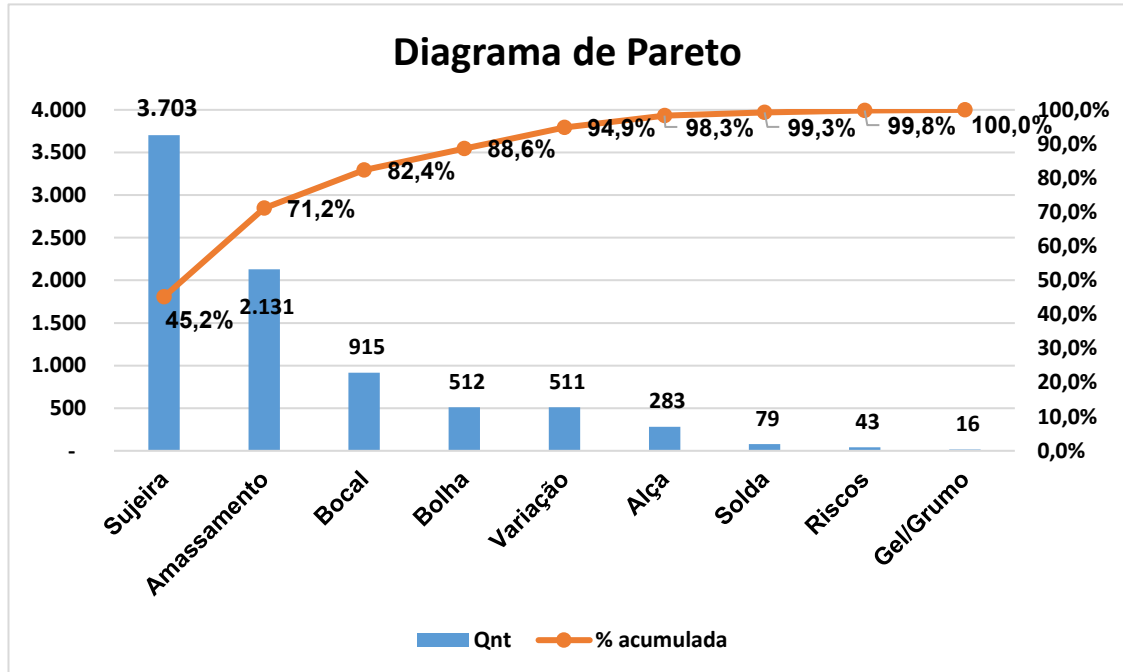
Problemas	Quant.	% problemas
Sujeira	3.703	45,2%
Amassamento	2.131	26,0%
Bocal	915	11,2%
Bolha	512	6,2%
Varição	511	6,2%
Alça	283	3,5%
Solda	79	1,0%
Riscos	43	0,5%
Gel/Grumo	16	0,2%
<b>Total de Problemas</b>		<b>8.193</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em posse destes resultados, foi possível aplicar a técnica do diagrama de Pareto conforme gráfico 2, uma forma gráfica bastante utilizada para se estabelecer de maneira organizada as causas de perdas ou defeitos. Essa ferramenta é bastante útil sempre que se precisa classificar os problemas, erros, defeitos, para estudos e ações posteriores (Camargo, 2022).

Com essas informações foi realizado a construção do diagrama de Pareto, com o objetivo de visualizar os pontos que precisam ser investigados com maior profundidade.

Gráfico 2 - Diagrama de Pareto

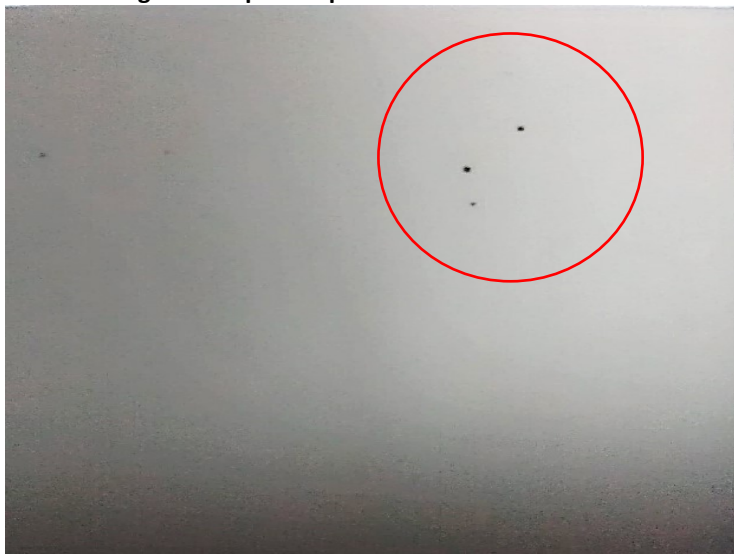


Fonte: Elaborado pelo autor

Em posse destes resultados foi possível identificar que o maior motivador de perdas dentro do processo é a sujeira.

Podemos classificar como sujeira vestígios de metais, madeira, papel, borracha, ou seja, pontos pretos em geral que não fazem parte da construção da embalagem, conforme figura 7 a seguir:

Figura 7 - Embalagem com pontos pretos



Fonte: Acervo do autor

Ainda assim é necessário buscar identificar de maneira correta os elementos corretos que podem compor esta sujeira que tem se apresentado nas paredes das embalagens, por conta disso foi realizado um levantamento de informações para identificar o tipo de sujeira, com o maior volume de incidência. Apenas com a identificação do problema será possível elaborar estratégias para se atuar frente as causas de perda dentro do processo de fabricação.

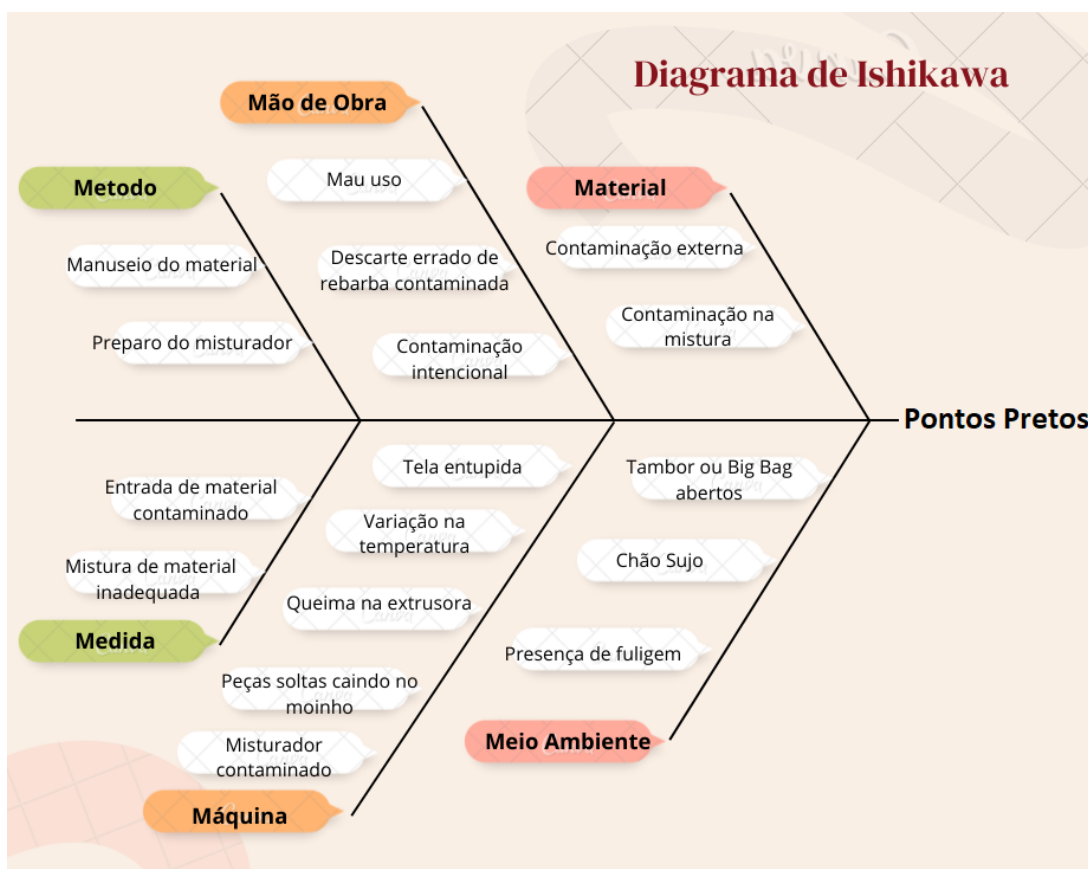
### 3.4 Investigação dos Resultados

Para se fazer um melhor entendimento das possíveis causas que estão relacionadas a geração da contaminação da embalagem foi elaborado um Diagrama de Ishikawa, de maneira a levantar as causas-raízes do problema, analisando todos os fatores que envolvem a execução do processo. (Bastiani, 2018)

A partir dessas informações será possível a identificação dos agentes causadores dos pontos pretos nas embalagens.

O diagrama tomou como pontos principais os elementos que compõe o processo de fabricação da embalagem, abrangendo seus métodos de fabricação, manuseio, interferências externos como a possibilidade de contaminação da matéria-prima, o próprio equipamento, entre outros fatores que integram o fluxo de produção, conforme figura 8.

Figura 8: Diagrama de Ishikawa

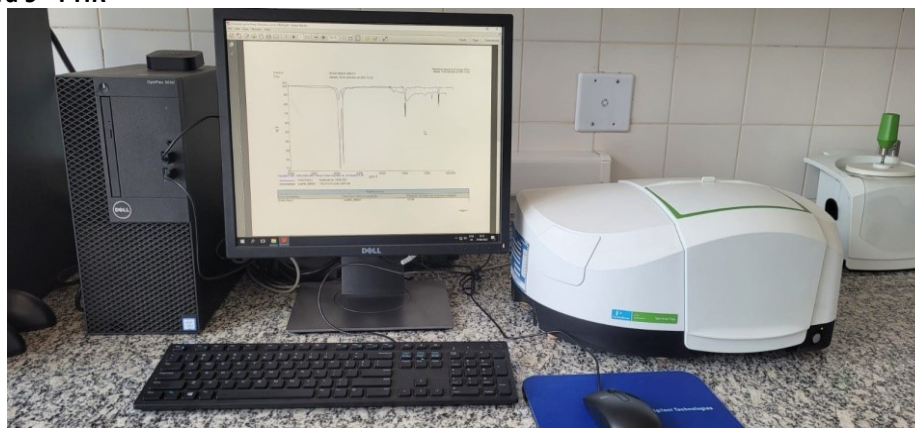


Fonte: Elaborado pelo autor

Tomando como base o diagrama foi possível perceber as variáveis e possíveis causas para se identificar o problema, mesmo assim pelo volume de dados descobertos pode não ser uma tarefa fácil de isolar.

Para se entender a origem destes pontos pretos foi realizado um teste de caracterização a partir do FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) como ferramenta conforme figura 9, para identificar possíveis contaminantes que estão gerando os pontos pretos.

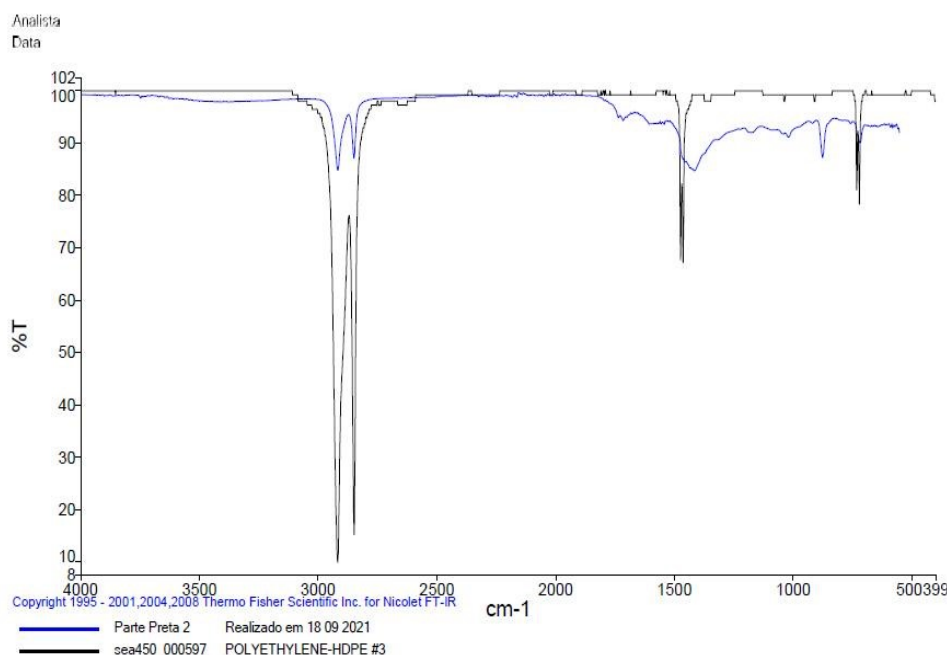
**Figura 9 - FTIR**



Fonte: Elaborado pelo autor

O uso da espectrofotometria no infravermelho, o qual é a base para o FTIR, apresenta-se como uma poderosa ferramenta na identificação de compostos orgânicos e inorgânicos puros e tem sido usada devido à confiabilidade nos dados gerados em relação à caracterização, identificação e quantificação da estrutura da amostra analisada. (Souza, 2014)

Nesse sentido, a busca pela caracterização do material ou materiais que podem estar relacionados com a geração de pontos pretos na embalagem pode ser considerada um caminho importante para a busca de soluções para o problema.

**Figura 10 - Análise e identificação do polietileno**

Fonte: Elaborado pelo autor

Por meio da análise de FTIR foi possível identificar que os pontos pretos tratava-se de Polietileno. Para essa identificação foi usada a técnica de FTIR, análise feita por Espectro no infravermelho por transformada de Fourier, é uma técnica capaz de caracterizar e identificar um material. A identificação foi consolidada conforme a figura 10 onde é possível observar as bandas características do polietileno foram observadas na amostra e comparadas com um padrão de polietileno na biblioteca do equipamento. A semelhança entre amostra e padrão de polietileno foi acima de 90%. Existem outros picos na amostra que provavelmente podem ser resultado da degradação do material.

Com base nas informações coletadas por meio do FTIR, foi possível compreender e eliminar boa parte das possíveis causas da contaminação do material. Ficando neste sentido aberto para outra abordagem para a investigação.

### 3.5 A Geração de Perdas e o Processo de Extrusão

Frente os resultados obtidos a partir das investigações anteriores, foi possível relacionar que os pontos pretos geradores de perdas dentro do processo podem estar relacionados ao equipamento ou até mesmo ao próprio processo de fabricação, visto que não se encontrou a presença de contaminantes externos nas amostras testadas.

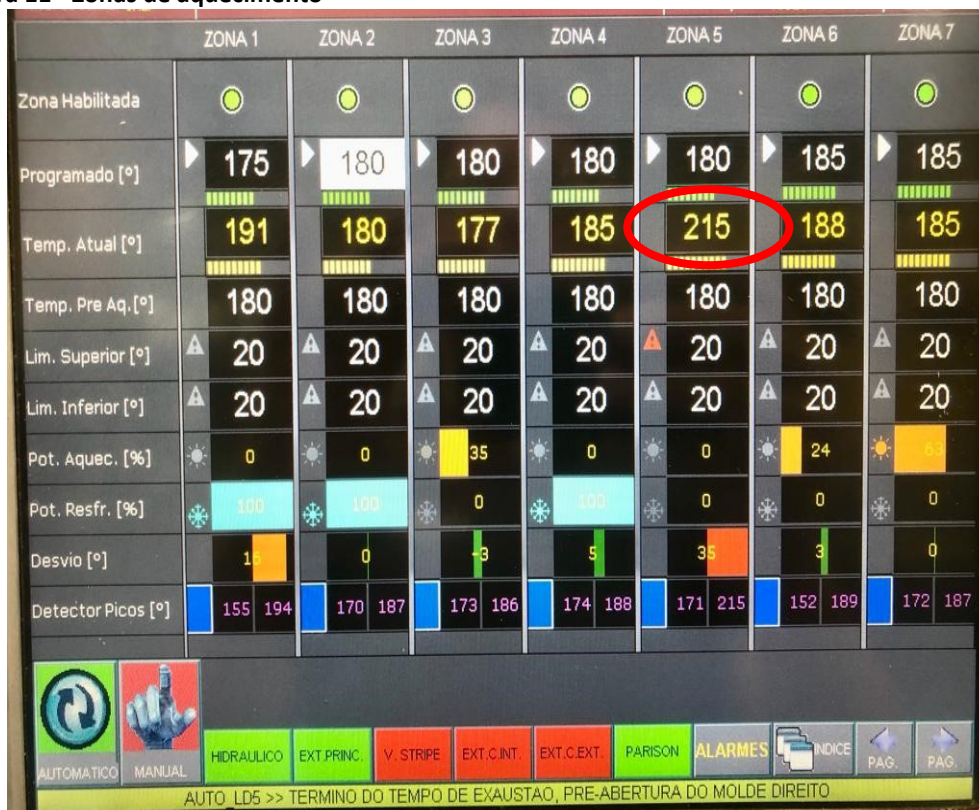
Cabe assim observar estas variáveis dentro do processo, relação entre a degradação do polietileno ao aparecimento de pontos pretos na embalagem, como indica Nascimento e Pinheiro (2019), parâmetros de processo como altas temperaturas, tensões cisalhantes, presença de oxigênio, entre outros, ocasionam reações químicas que podem provocar alterações na estrutura do material. Por conta deste fato, é provável que o próprio processo de extrusão possa ter gerado esse contaminante, visto que a análise de FTIR identificou os pontos pretos como Polietileno. A presença do PEAD nos pontos pretos, possivelmente se dá pela degradação dele. As possíveis causas da degradação podem ser: o cisalhamento do



material, uso de temperaturas elevadas no canhão/rosca ou em outras regiões por onde o material possa ter algum contato levando a geração de material carbonizado.

Neste sentido, foi feita uma análise com o objetivo de relacionar os elementos que possam estar gerando um aumento de temperatura causando a degradação do material. Diante disso, ao observarmos as curvas de temperatura da extrusora foi possível perceber que em uma de suas zonas de aquecimento o aparecimento de um ponto fora do programado, conforme figura 11.

**Figura 11 - Zonas de aquecimento**



Fonte: Acervo do autor

Ao analisar as informações relativas ao processo de produção, comparando as informações de temperatura entre o programado e o real na área da extrusora, foi possível notar a elevada temperatura na Zona 5 que remete a região conhecida como porta filtro.

Esta região denominada de porta filtro tem dois objetivos no sistema de produção da empresa, de um lado de ser um elemento responsável por reter possíveis contaminantes externos ao processo como limalha de ferro que podem se prender ao cabeçote de extrusão e também é usado como elemento auxiliar para a homogeneização e compressão do PEAD.

Por conta deste resultado, optou-se por realizar um desmonte nessa região do porta filtro para uma melhor compreensão das possíveis causas deste aumento da temperatura. Foi possível observar, como mostra a figura 12, o volume de matéria carbonizada na região.

Figura 12 - Malha filtro



Fonte: Acervo do autor

Em mãos destas informações foi possível compreender que a hipótese provável para as causas do aparecimento dos pontos pretos nas embalagens está relacionada ao processo de carbonização do PEAD na região do troca tela.

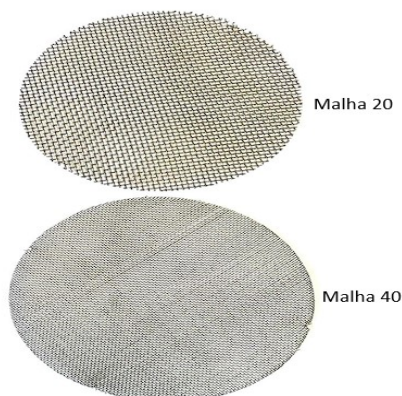
#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir das informações encontradas na pesquisa, cabe compreender a relação que existe entre a apresentação desta alta temperatura na região do, porta filtro ou quebra fluxo e de como isso influencia na degradação do material.

A importância do, porta filtro para a extrusão do polietileno, que de acordo com Ferreira (2019), está em agir como suporte para o uso de uma ou mais malhas metálicas, que podem variar de tamanho e número de furos, como filtro para retirar do material fundido as partículas de material não plastificado e outros tipos de impurezas.

Atualmente, conforme procedimento da empresa, a forma pela qual são utilizadas estas malhas está em usar uma espécie de sanduíche contendo duas malhas, sendo uma malha com *mesh* 40 e outra malha de *mesh* 20, conforme figura 13. Esta unidade de medida *mesh* utilizada de referência para as malhas significa o volume de fios por polegada, ou seja, para uma malha com *mesh* 40 ela possui 40 fios por polegada linear.

Figura 13 - Conjunto de Malhas

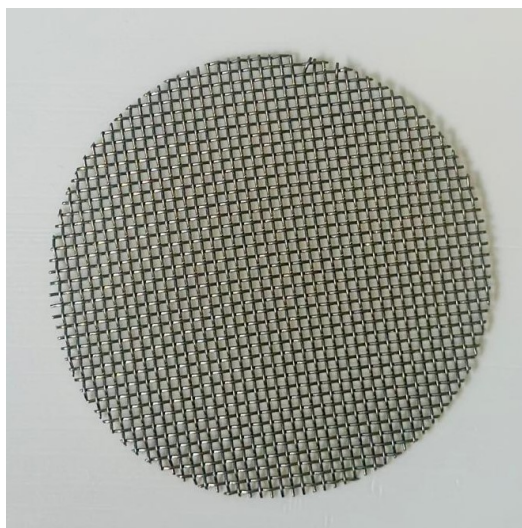


Fonte: Acervo do autor

A proposta da pesquisa foi no caminho da substituição do sistema atual de duas malhas, para o uso apenas de apenas uma malha com *mesh* 14, conforme figura 14, para analisar os impactos no médio prazo da mudança dentro do processo.

Esta nova sistemática foi proposta para verificar se a tela estava causando uma obstrução limitando o fluxo do polímero (alto cisalhamento), como isso gerando calor excessivo na região e por consequência a degradação do material.

**Figura 14 - Proposta de Malha**



Fonte: Acervo do autor

A intenção com esta nova postura é compreender os novos resultados e validar a proposta de substituição do sistema de duas malhas para um novo que faz o uso de apenas uma malha dentro do processo.

Com o novo sistema de uma malha foi possível notar as diferenças entre o sistema de uma e de duas malhas conforme a figura 15.

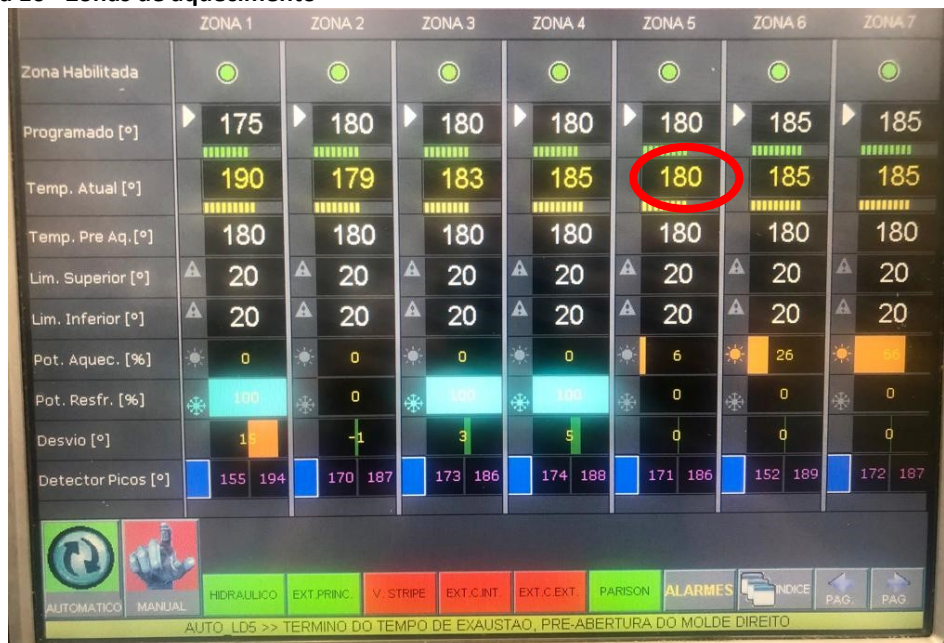
**Figura 15 - Comparação do sistema de malhas**



Fonte: Acervo do autor

Foi possível observar, na figura 15-A que o sistema de apenas uma tela, apresenta um menor acúmulo de material carbonizado, com relação à imagem 15-B, levando em consideração que o intervalo de trocas para ambos os sistemas foi de sete dias.

**Figura 16 - Zonas de aquecimento**



Fonte: Acervo do autor

É possível observar na figura 16 que após a troca de tela, houve uma redução da temperatura na Zona 5, considerada a área da troca tela, onde antes da troca a temperatura dessa região era de 215°, nesta nova configuração houve uma redução de 35° em comparação ao antigo modelo.

Para validar este resultado de maneira quantitativa e verificar como ficaram as questões de perdas por problemas de pontos pretos foi realizado um novo levantamento de dados entre os meses de julho a dezembro de 2021, onde foi obtido os seguintes resultados conforme a tabela 3.

**Tabela 3 - Revalidação dos Dados**

<b>Tipo de problema</b>	<b>Total de perdas em unidades</b>
<b>Pontos Pretos</b>	2.723
<b>Amassamento</b>	2.436
<b>Bocal</b>	1.434
<b>Bolha</b>	683
<b>Variação</b>	559
<b>Alça</b>	312
<b>Solda</b>	253
<b>Riscos</b>	176
<b>Gel/Grumo</b>	1
<b>Peças Refugadas</b>	8577

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando as informações e realizando a comparação entre os dados obtidos antes da mudança, conforme tabela 4.

**Tabela 4 - Comparativo dos Dados**

<b>Tipo de problema</b>	<b>Total de perdas (em unidades)</b>
<b>Sistema de duas malhas</b>	3.703
<b>Sistema de uma malha</b>	2.723
<b>Redução de Perdas</b>	27%

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste sentido obteve-se uma redução de perdas por sujeira em aproximadamente 27% em comparação ao sistema de duas telas, evidenciando que o novo sistema é mais eficaz no controle do processo.

Esta influência também pode ser observada em outros pontos do processo de fabricação, neste caso foi a redução do tempo de ciclo de produção do equipamento, antes da substituição das malhas o tempo médio para a fabricação de uma embalagem era de 56 segundos e como novo sistema este mesmo tempo está em 44 segundos (no peso de 1200) conforme tabela 5, em um primeiro momento parece pouco, mas em se tratando de um

processo produtivo qualquer ganho de tempo em máquina é significativo, ainda mais quando vemos o acumulado deste processo no longo prazo.

**Tabela 5 - Redução no Tempo de Produção**

<b>Tempo de Ciclo</b>	<b>Quantidade Produzida ao Mês</b>
<b>Ciclo de 56 segundos</b>	43.971
<b>Ciclo de 44 segundos</b>	55.964
<b>Ganho em produção</b>	21%

Fonte: Elaborado pelo autor

Com estas informações foi possível compreender a influência da substituição assertiva do sistema de telas proposto pela pesquisa para atingir o objetivo na redução de perdas por sujeira e o ganho de produtividade.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo realizado pode apresentar algumas das razões de perdas dentro do processo de sopro da empresa parceira, o processo investigativo nesse sentido, conseguiu demonstrar as causas do problema e indicar possíveis soluções para o caso.

Este estudo, partiu do levantamento de dados para indicar o maior causador de perdas dentro do processo, descobriu-se que estava relacionada a sujeira das embalagens, a partir daí, com uma análise deste, foi possível identificar um dos pontos geradores da perda, neste caso o uso inadequado das malhas filtro.

Com estas informações em mãos foi possível atuar de maneira mais assertiva, alterando a forma pela qual era feito o uso da malha filtro, que passou de duas telas para apenas uma, algo que impactou positivamente dentro do processo, reduzindo o volume de perdas em aproximadamente 27% e ainda obtendo uma redução de 2 segundos no tempo de fabricação da embalagem, com isso a empresa passou a ter um ganho significativo.

Ainda assim, para futuros estudos cabe ressaltar a possibilidade de novas investigações para que seja possível mitigar ainda mais os problemas relacionados as perdas dentro do processo.

Pesquisas como esta são importantes para compreender os processos que envolvem a fabricação de embalagens e seus pontos de influência. Isso ajuda a valorizar e incentivar trabalhos e investigações futuras como forma de se melhorar o cotidiano da produção de uma empresa.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS - ABRE. **Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**. 2020. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/> . Acesso em: 22 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST. **Perfil 2018**. Disponível em: [http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web\\_VC.pdf](http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf). Acesso em: 01 jun. 2022.

BASTIANI, J. A. de. Diagrama de Ishikawa. **Blog da qualidade**, 2018. Disponível em: <https://blogdaqualidade.com.br/diagrama-de-ishikawa-2/> . Acesso em: 20 ago. 2022.

BRITTO, H. **Extrusão Plástica**. 2015. Disponível em: <http://mecanicadefabricao.blogspot.com/2015/10/extrusao-plastica.html>. Acesso em: 23 fev. 2022.

CAMARGO, R. **Diagrama de Pareto: o que é e quando você deve usá-lo?** 2018. Disponível em: <https://robsoncamargo.com.br/blog/Diagrama-de-Pareto-o-que-e-e-quando-voce-deve-usa-lo> . Acesso em: 20 ago. 2022.

CERQUEIRA, A. C. **Engenharia da qualidade**: melhoria de processo de produção. Piracanjuba-GO: Conhecimento Livre, 2021.

FERREIRA, J. **Processos de Sopro**. 2017. Disponível em: <http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/rferreira/4P%20-%20Processos%20de%20Transforma%C3%A7%C3%A3o%20-%202020/3.%20Sopro.pdf> . Acesso em: 03 jun. 2022.

FERREIRA, R. **Entendendo a Extrusão de Polímeros**. 2019. Disponível em: <http://200.19.248.10:8002/professores/rferreira/Extrus%C3%A3o%20Teoria%20-%203P%203T/5.%20Entendendo%20a%20Extrus%C3%A3o%20de%20Pol%C3%ADmeros.pdf> . Acesso em: 24 out. 2022.

GUERREIRO, K. M. da S. **Qualidade e produtividade**. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2012. Disponível em: <http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1339/Qualidade%20e%20Produtividade%202012%20ISBN.pdf?sequence=1> . Acesso em: 06 out. 2022.

GONÇALVES, A. P. **Desafio para a redução das embalagens plásticas de alimentos pós-consumo nos rejeitos da coleta seletiva: um estudo de caso em uma cooperativa no município de Assis**. 2022. Dissertação – (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-20062022-104036/publico/DissertacaoAnaPaulaGoncalvesVersaoCorrigida.pdf> . Acesso em: 06 out. 2022.



GORGULHO, C. F. Embalagens. **Radar Tecnológico**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/arquivos/n16RadarTecnologico\\_Embalagem\\_verso26072018.pdf](https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/arquivos/n16RadarTecnologico_Embalagem_verso26072018.pdf) Acesso em: 22 fev. 2022.

LIMA, S. B. O. *et al.* Ferramentas da qualidade aplicadas à conferência do carro de emergência: pesquisa de métodos mistos. **Escola Anna Nery**, v. 25, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ean/a/jSPp3VWGBWdk9NVjSrqcyQN/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 06 out. 2022.

NASCIMENTO, E. PINHEIRO, L. A. **Estudo da degradação termo-oxidativa do polietileno de alta densidade**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009. **Anais[...]**. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/1207.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

OLIVEIRA, A. L. **Gerenciamento do ciclo da qualidade**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=iNKNDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false> . Acesso em: 06 out. 2022.

SOUZA, A. K. R. *et al.* Técnica FTIR e suas aplicações em amostras orgânicas. **Anais do Encontro de Iniciação Científica – ENIC**, UEMS, v. 6, 2014. Disponível em: <https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/2526/2677>. Acesso em: 20 ago. 2022.

VIEIRA, K. T. PASSOS, C. A. A utilização das ferramentas da qualidade para diminuir avarias no processo de distribuição de peças automotiva. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.12, n.2, p. 62-83. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20180409234349id\\_/http://rica.unibes.com.br/index.php/rica/article/viewFile/883/706](https://web.archive.org/web/20180409234349id_/http://rica.unibes.com.br/index.php/rica/article/viewFile/883/706) . Acesso em: 06 out. 2022.



## Sobre os Autores

---

### **i Fernando Henrique Custódio Bastos**



Possui graduação em Tecnologia em Gestão da Produção, pela Centro Universitário UNINTER (2013). Pós-Graduação em Materiais Poliméricos pela Faculdade de Tecnologia SENAI Mario Amato (2023). Com mais de 20 anos de experiência no desenvolvimento de processos industriais, voltados para embalagens plásticas rígidas por extrusão/sopro. Atualmente atua como Gerente de Produção na empresa Indústria e Comercio de Embalagens Plásticas Veloplast.

### **ii Kerley Cristiane Victorino Romão**



Possui graduação em Química pelo Centro Universitário Fundação Santo André. Pós-Graduação em Gestão de Controles Ambientais pelo SENAI-SP. Mestrado pela Faculdade Medicina do ABC com ênfase em Fármacos. Ministra aulas Graduação e Pós-Graduação da Faculdade Tecnologia SENAI Mario Amato, nos cursos de Tecnologia em Polímeros e Engenharia de Automação e Controle. Tem experiência na área de Química analítica, com ênfase em Análise Instrumental. Trabalhou com elastômeros durante 10 anos. <https://orcid.org/0009-0003-2808-7339>