

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ANANDA STELLA PIERI**

**REDUÇÃO DA VARIABILIDADE NA MEDIÇÃO DE CASCA EM DIFERENTES  
PONTOS DE AMOSTRAGEM EM UMA PLANTA DE PVC**

Maceió  
2024

ANANDA STELLA PIRI

**REDUÇÃO DA VARIABILIDADE NA MEDIÇÃO DE CASCA EM DIFERENTES  
PONTOS DE AMOSTRAGEM EM UMA PLANTA DE PVC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Albanise Enide da Silva

Maceió  
2024

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

P618r Pieri, Ananda Stella.  
Redução da variabilidade na medição de casca em diferentes pontos de amostragem em uma planta de PVC / Ananda Stella Pieri. – 2024.  
53 f. : il. color.

Orientadora: Albanise Enide da Silva.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química)  
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 53.

1. Policloreto de Vinila (PVC). 2. Variabilidade - Análise. 3. Casca - Qualidade. I. Título.

CDU: 66.0

## RESUMO

O Policloreto de Vinila (PVC) é o termoplástico mais versátil dentre os plásticos. Devido a sua necessidade de uma formulação mediante a incorporação de aditivos, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades em função da aplicação final, variando desde o rígido ao extremamente flexível. Os diferentes tipos de resinas produzidas (*grades*), para estarem em conformidade com a Especificação do Produto (EP), precisam possuir seus parâmetros de qualidade, como a casca ( $\text{Gran} > 500\mu\text{m}$ ), por exemplo, de acordo com os limites de especificação impostos pela EP. A casca em resinas de PVC pode ser definida como as partículas com granulometria maior que 500 micras, que são indesejáveis ao processo, pois afetam diretamente o processamento da resina nas indústrias transformadoras, podendo ocasionar pontos infundidos no produto final. O presente trabalho teve como objetivo reduzir a variabilidade da análise desse parâmetro de qualidade do PVC entre dois pontos principais de amostragem de uma indústria química com nome fictício “Poliquímica”: soprador e lotes, para o *grade* SP 600RX. A partir da aplicação da metodologia de resolução de problemas e melhoria contínua DMAIC, foi possível encontrar as causas raiz deste problema, de modo qualitativo e quantitativo, e propor ações corretivas para que elas fossem minimizadas ou sanadas, resultando na redução da variabilidade do parâmetro de qualidade casca à valores mínimos de média e desvio padrão, que foram equiparados entre os dois pontos de amostragem da planta, bem como a previsão da ocorrência dessas partículas indesejadas com o PVC ainda presente no processo, o que possibilitou à equipe de engenharia a tomada de ações evitando que estas cheguem até os lotes de PVC, ou seja, no produto final.

**Palavras-Chave:** PVC, amostragem, variabilidade de análises, casca, DMAIC.

## ABSTRACT

Polyvinyl Chloride (PVC) is the most versatile thermoplastic among plastics. Due to its need for formulation through the incorporation of additives, PVC's characteristics can be altered within a wide spectrum of properties depending on the final application, ranging from rigid to extremely flexible. The different types of produced resins (grades), to comply with the Product Specification (PS), need to have their quality parameters, like the shell ( $\text{Gran} > 500\mu\text{m}$ ), for example, in accordance with the specification limits imposed by the PS. The shell in PVC resins can be defined as the particles with granulometry larger than 500 microns, which are undesirable for the process, as they directly affect the processing of the resin in the transforming industries, possibly causing infused points in the final product. The present work aimed to reduce the variability of the analysis of this quality parameter of PVC between two main sampling points of a chemical industry with a fictitious name "Poliquímica": blower and batches, for the grade SP 600RX. By applying the problem-solving and continuous improvement methodology DMAIC, it was possible to find the root causes of this problem, in a qualitative and quantitative manner, and propose corrective actions so that they could be minimized or remedied, resulting in the reduction of the variability of the quality parameter shell to minimum average and standard deviation values, which were matched between the two sampling points of the plant, as well as predicting the occurrence of these undesirable particles with the PVC still present in the process, which allowed the engineering team to take actions to prevent them from reaching the PVC batches, i.e., the final product.

**Keywords:** PVC, sampling, analysis variability, shell, DMAIC.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de polimerização em suspensão.....	13
Figura 2 - Micrografia de uma partícula de PVC obtido via polimerização em suspensão. ....	15
Figura 3 - Homopolímero de PVC denominado SP 600RX.....	16
Figura 4 - Esquema de análise da Densidade Volumétrica em resinas de PVC. ....	17
Figura 5 - Relação entre o valor K e o peso molecular numérico médio de resinas de PVC...21	
Figura 6 - Amostra de PVC com elevado grau de contaminação. ....	23
Figura 7 - Equipamento para determinar a Contaminação no PVC (Negatoscópio).....	23
Figura 8 - Comparativo entre uma amostra de PVC "padrão" e uma amostra de casca.....	26
Figura 9 - Diagrama de Ishikawa, ilustrado para um problema fictício de parafuso fora do especificado. ....	29
Figura 10 - Exemplo de brainstorming.....	31
Figura 11 - Exemplo de Matriz Causa e Efeito. ....	32
Figura 12 - Matriz de Esforço e Impacto.....	34
Figura 13 - Comparativo de dados de medição de casca entre soprador e lotes. ....	39
Figura 14 - Comparativo entre valores de medição de casca em lotes e soprador no ano de 2022. ....	40
Figura 15 - Diagrama de Ishikawa para problemática de variabilidade dos valores de medição de casca entre Soprador e Lotes de PVC.....	41
Figura 16 - Matriz de Causa e Efeito.....	44
Figura 17 - Matriz de Esforço e Impacto.....	45
Figura 18 - Planilha "5W2H".....	46
Figura 19 - Nova balança analítica de pesagem de casca no soprador. ....	49
Figura 20 - Comparativo de dados de medição de casca entre soprador e lotes, após aplicação do DMAIC.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de Especificação da granulometria do PVC. ....	20
Tabela 2 - Valores de média e desvio padrão dos dados de medição de casca no soprador e lotes, para o ano de 2022. ....	41
Tabela 3 - Comparativo entre média e desvio padrão das medições de casca entre soprador e lote, antes e após aplicação do DMAIC. ....	51

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>PVC .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Grade SP 600RX.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>Parâmetros de Qualidade do PVC .....</b>	<b>16</b>
3.3.1	Densidade volumétrica (BD) .....	17
3.3.2	Absorção de plastificante à frio (CPA) .....	18
3.3.3	Distribuição granulométrica (granulometria) .....	19
3.3.4	Valor K (VK) .....	20
3.3.5	Estabilidade térmica (ET).....	21
3.3.6	Contaminação .....	22
3.3.7	MVC residual (MVCr) .....	24
3.3.8	<i>Roll fish-eyes</i> (RFE).....	24
<b>3.4</b>	<b>Casca em Resinas de PVC .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5</b>	<b>DMAIC .....</b>	<b>27</b>
3.5.1	Principais Ferramentas Utilizadas no DMAIC .....	28
3.5.1.1	<i>Diagrama de Ishikawa</i> .....	28
3.5.1.2	<i>5W2H</i> .....	29
3.5.1.3	<i>Brainstorming ou tempestade de ideias</i> .....	30
3.5.1.4	<i>Matriz causa e efeito</i> .....	31
3.5.1.5	<i>Matriz esforço impacto</i> .....	32
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Problemática de Variabilidade.....</b>	<b>35</b>

<b>4.2 Aplicação do DMAIC</b> .....	<b>36</b>
4.2.1 Etapa de definição .....	36
4.2.2 Etapa de medição .....	36
4.2.3 Etapa de análise .....	37
4.2.4 Etapa de melhoria .....	37
4.2.5 Etapa de controle .....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1 Etapa de Definição</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2 Etapa de Medição</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3 Etapa de Análise</b> .....	<b>42</b>
5.3.1 Mão de obra .....	42
5.3.2 Medida .....	42
5.3.3 Máquina .....	43
5.3.4 Material.....	43
5.3.5 Método.....	44
5.3.6 Etapa de melhoria .....	45
5.3.6.1 <i>Ausência de materiais adequados para análise</i> .....	47
5.3.6.2 <i>Diferença nas Instruções de Trabalho</i> .....	47
5.3.6.3 <i>Ausência de uma rotina de inspeção da malha da peneira</i> .....	48
5.3.6.4 <i>Descumprimento da Instrução de Trabalho</i> .....	48
5.3.6.5 <i>Ausência de uma balança analítica para pesagem de casca</i> .....	49
5.3.7 Etapa de controle .....	49
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O PVC (Policloreto de Vinil) têm importante papel na qualidade de vida da sociedade moderna, pois sustenta uma excelente relação custo/benefício destinada à infraestrutura e à construção civil, além de ter se mostrado fundamental para o desenvolvimento de inovações e disseminação de soluções, seja em produtos de área médica, embalagens de alimentos, calçados, brinquedos, fios e cabos, revestimentos e automóveis (BRANDING, 2015).

As resinas de PVC vêm se tornando uma alternativa viável frente à materiais como alumínio, borracha, cobre, alvenaria, cerâmica, vidro ou madeira, sendo este o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo, tendo a sua produção 5,5% maior em 2022 (722 mil toneladas) frente a 2021 (684 mil toneladas).

No Brasil, os diferentes tipos de resinas de PVC produzidas (*grades*) são fabricados por indústrias de segunda geração, no qual 80% do seu consumo no mundo é obtido por meio da polimerização de seu monômero Monocloreto de Vinil (MVC) via suspensão. O produto final do processo é um pó fino e inerte, de cor branca, que passa por um controle de qualidade dentro das indústrias antes de ser comercializado. Os *grades* precisam estar em conformidade com a Especificação do Produto (EP), documento base que lista os limites de especificação de cada parâmetro de qualidade do PVC.

A casca em resinas de PVC pode ser definida como as partículas de tamanho (granulometria) maior que 500 micras, que são indesejáveis ao seu processo de fabricação, porque afetam diretamente o processamento do PVC nas indústrias transformadoras, que são aquelas que processam a resina e a transformam em produtos. Essas partículas de tamanho indefinido podem ocasionar pontos infundidos no produto final, gerando defeitos na fabricação deles e comprometendo a sua qualidade, já que alguns desses produtos são frágeis, como àqueles destinados ao uso hospitalar, por exemplo.

O presente trabalho foi desenvolvido em uma indústria produtora de PVC, que possui dois pontos principais de amostragem para controle de qualidade das suas resinas: o soprador, que é um equipamento que, por transporte pneumático, transporta o PVC até o silo de estocagem, em que os operadores da planta são responsáveis pela coleta e análise das amostras de PVC, com o objetivo de controle do processo; e os lotes de PVC, que são formados com uma variada quantidade de resina (50 t, 100 t ou 150 t) que foi transportada pelo soprador e que serão direcionados ao cliente final, na qual os analistas do Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ) da planta são responsáveis pela análise das amostras formadoras dos lotes.

Considerando a existência de variabilidade dos valores de medição do parâmetro de qualidade casca entre os dois principais pontos de amostragem da planta, o presente trabalho se propôs a reduzir a diferença dos valores de medição à valores mínimos de média e desvio padrão, a partir da aplicação da metodologia de resolução de problemas e melhoria contínua DMAIC.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Reduzir a variabilidade dos resultados de medição do parâmetro de qualidade casca (granulometria maior que 500 micras) entre dois principais pontos de amostragem de uma planta de PVC, soprador e lotes, para o *grade* SP 600RX.

### **2.2 Específicos**

- Definir e caracterizar a problemática a ser resolvida na planta de PVC;
- Medir as possíveis causas potenciais, de modo qualitativo e quantitativo;
- Analisar e priorizar as causas raízes do problema, que estão afetando o processo de forma expressiva;
- Propor ações de melhoria, que sejam adequadas e viáveis para a realidade da planta;
- Controlar e monitorar os resultados obtidos com a implementação das melhorias.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PVC

O PVC é o termoplástico mais versátil dentre os plásticos. Este tipo de material, quando condicionado à ação de calor, facilmente se deforma, podendo ser remodelado e novamente solidificado em uma nova estrutura. Em função da sua aplicação final, a característica desse polímero pode variar desde a rígida, como tubos, brinquedos, calçados e perfis rígidos para o uso na construção civil, à extremamente flexível, como bolsas de sangue e plasma para uso hospitalar. O PVC pode ter suas características alteradas mediante a incorporação de aditivos à sua formulação. A grande versatilidade desse termoplástico deve-se, em parte, também à sua adequação aos mais variados processos de moldagem, podendo ser injetado, extrusado, calandrado e espalmado (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

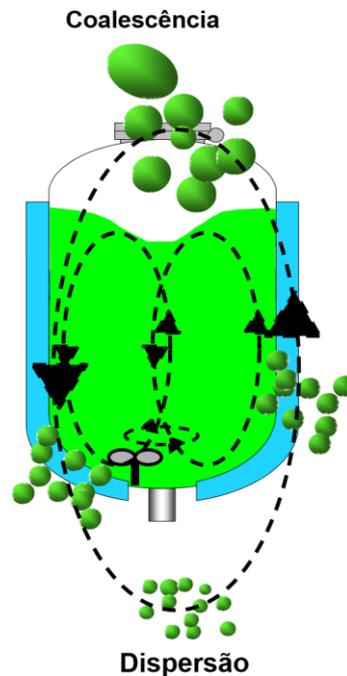
Os diferentes tipos de resinas de PVC (*grades*) produzidos pelas indústrias de segunda geração no Brasil mostram favorável relação custo-benefício se comparado a materiais concorrentes, como a madeira, metais e cerâmicas, além de apresentar vantagens como comportamento antichama (devido a presença do átomo de cloro em sua estrutura molecular), resistência química e ao intemperismo, isolamento térmico e acústico, além de ser um material ambientalmente correto, podendo ser reciclado por tecnologia mecânica, energética ou química.

O PVC é o único material plástico que não é, em sua totalidade, originário do petróleo, sendo obtido a partir de 57% de insumos provenientes do sal marinho (salgema) e 43% de insumos provenientes de fontes não renováveis, como o petróleo. A reação química que dá origem a essa resina é a reação de polimerização do monômero cloreto de vinil, na qual 80% do PVC consumido no mundo é produzido por meio da polimerização em suspensão.

O Monocloreto de Vinil (MVC) é polimerizado em um processo descontínuo (batelada) por dispersão sob a sua própria pressão em um reator em constante agitação. Agentes dispersantes são adicionados ao reator para controle de qualidade, na qual moderam o tamanho e a morfologia dos grãos de PVC. Iniciadores com radicais livres, solúveis no monômero, são utilizados para acelerar o processo de polimerização. Quando o conteúdo do reator é aquecido, o iniciador decompõe-se para formar radicais livres e as gotículas de monômero começam a polimerizar. A reação é exotérmica e o calor é absorvido através da circulação de água de resfriamento na camisa do reator e no condensador de refluxo instalado no topo, que condensa o MVC através do calor latente de vaporização. O PVC é insolúvel no seu monômero, e uma vez formado, precipita nas gotículas de monômero como uma partícula inferior a 1 microm. Com o progresso da reação, os aglomerados de gotículas tornam-se maiores.

Quando não há mais monômero líquido livre no reator, a pressão de reação começa a cair e esta é finalizada quando a conversão desejada é atingida, variando num intervalo de 75% a 95% de conversão, dependendo do *grade* (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). A Figura 1 ilustra o processo de polimerização em suspensão dentro de um reator, na qual as partículas de MVC suspensas e dispersas na água, coalescem (se unem) para formar partículas maiores.

**Figura 1 - Processo de polimerização em suspensão.**

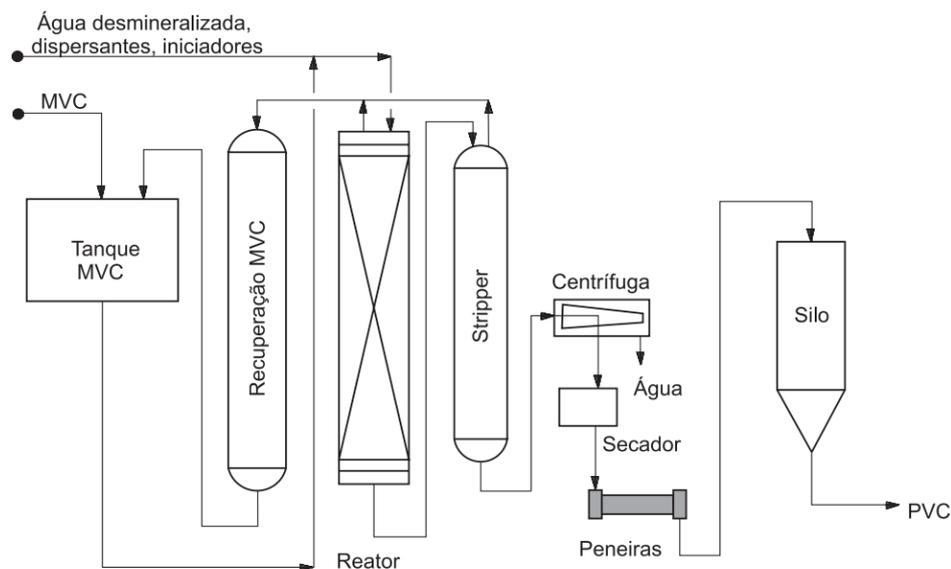


Fonte: Autora, 2024.

Após a reação de polimerização, o produto proveniente do reator é uma lama de PVC em água (35 – 40% de sólidos), com 8 – 15% de MVC absorvido no polímero. Essa lama é enviada para o pós-reator com o objetivo de recuperar esse MVC não reagido em um pós-tratamento, sendo o restante removido em um processo de *stripping* da lama ou aerada nos tanques de recebimento, a depender da tecnologia da planta produtora. Após o pós-tratamento, a lama segue para área de secagem, na qual o PVC é centrifugado e seco, por secadores de leito fluidizado. A fluidização baseia-se fundamentalmente na circulação de sólidos juntamente com um fluido (gás ou líquido), impedindo a existência de gradientes de temperatura, de pontos muito ativos ou de regiões estagnadas no leito, proporcionando também um maior contato superficial entre sólido e fluido, favorecendo a transferência de massa e calor (BARBOSA; SILVA, 2016). O PVC seco é descarregado do secador com um teor de materiais voláteis menor que 0,3% e, através das peneiras vibratórias, são separados do PVC seco as partículas maiores

que 32 mesh e menores de 20 mesh. Na descarga das peneiras, existem válvulas rotativas que levam o PVC até o sistema de transporte pneumático. Um ciclone separa a corrente de ar do pó de PVC e o produto acabado é transferido para silos de estocagem. Vale salientar que nesta área o processo é exclusivamente físico, não ocorrendo nenhum tipo de reação química. O Fluxograma 1 ilustra o processo produtivo de PVC via polimerização em suspensão.

**Fluxograma 1 – Processo produtivo de PVC via polimerização em suspensão.**



Fonte: Nunes; Rodolfo; Ormanji, 2006.

As resinas de PVC obtidas pelos processos de polimerização em suspensão consistem em partículas com diâmetro normalmente na faixa de 50 a 200  $\mu\text{m}$ , e possuem estrutura interna bastante complexa, na qual, o seu interior é formado de aglomerados de pequenas partículas com diâmetro na faixa de 1  $\mu\text{m}$ , chamadas de partículas primárias. O volume entre essas partículas primárias é o responsável por caracterizar a porosidade interna de cada resina, que é um dos parâmetros de qualidade que define a sua capacidade de absorção de aditivos, por meio da ocupação desse volume livre. O termo morfologia se refere ao modo como todas as partículas de uma resina de PVC encontram-se organizadas. Essa morfologia de partícula é definida durante a reação de polimerização e é influenciada por características do processo como taxa de agitação do reator, nível de oxigênio, temperatura de polimerização e concentração de dispersantes primário e secundário. A processabilidade e as propriedades físicas do produto final são impactadas pela distribuição morfológica das partículas de PVC. A Figura 2 ilustra a micrografia de uma partícula de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão,



O *grade* SP 600RX, representado pela Figura 3, foco de estudo deste trabalho, é um homopolímero de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão, de rápida gelificação, elevada fluidez do fundido, alta transparência e brilho, boa estabilidade térmica, boa coloração inicial e baixo teor de *Roll Fish-Eyes*. Esta resina pode ser aplicada na extrusão de perfis rígidos, na extrusão e calandragem de filmes e laminados rígidos, na extrusão e calandragem de filmes e laminados semirrígidos, no sopro de frascos e embalagens e na injeção de conexões. Ela, assim como qualquer outra resina de PVC, é inerte e não apresenta toxidez, pois em sua composição não são utilizados aditivos tóxicos.

**Figura 3 - Homopolímero de PVC denominado SP 600RX.**



Fonte: Autora, 2024.

### **3.3 Parâmetros de Qualidade do PVC**

Os diferentes tipos de resinas produzidas (*grades*) possuem parâmetros de qualidade que precisam estar em conformidade com a Especificação do Produto (EP). A EP é um documento base que lista os limites de especificação de cada parâmetro, ou seja, as suas faixas de controle, que variam para cada tipo de resina, sendo ela rígida ou flexível. A citar, os parâmetros de qualidade da resina são: Viscosidade (VK), Estabilidade Térmica (ET), Granulometria (Gran>250 µm), Densidade Volumétrica (BD), Absorção do Plastificante a Frio

(CPA), Casca (Gran $>$ 500 $\mu$ m), *Roll Fish-Eyes* (RFE), Contaminação (Cont), MVC residual (MVCr) e Cor.

O *grade* SP 600RX, que é utilizado para fabricação de perfis leves, como forros de PVC, eletrodutos e laminados rígidos, possui características específicas de cada um desses parâmetros de qualidade.

### 3.3.1 Densidade volumétrica (BD)

A Densidade Volumétrica (“*Bulk Density*”) em resinas de PVC consiste em seu peso molecular aparente, ou seja, é a razão da massa por unidade de volume ocupado do mesmo em um estado não compactado. Ela é influenciada por parâmetros morfológicos da resina, tais como tamanho e distribuição do tamanho de partícula, porosidade (na qual apresenta relação inversa), formato e rugosidade superficial (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). A sua análise é realizada em laboratório, onde um funil de dimensões conhecidas é preenchido com um excesso de PVC, que é deixado escoar livremente para um recipiente padrão também de dimensões conhecidas. Uma vez retirado o excesso de resina do topo desse funil, este é pesado e a massa de resina acomodada em seu interior é determinada. Logo, a relação entre a massa e o volume corresponde à densidade volumétrica da resina, mais conhecida como Densidade Aparente. A Figura 4 explana o esquema de análise da BD, representado por um funil e recipiente abaixo deste.

**Figura 4 - Esquema de análise da Densidade Volumétrica em resinas de PVC.**



A Densidade Aparente de resinas de PVC comerciais varia na faixa entre 0,45 (resinas porosas para utilização em aplicações flexíveis) e 0,60 g/cm<sup>3</sup> (resinas para aplicações em produtos rígidos transformados diretamente a partir do pó) (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). O *grade SP 600RX*, foco de estudo desse trabalho, possui elevada BD, que possui uma faixa de especificação entre 0,52 g/cm<sup>3</sup> (limite inferior de especificação) à 0,60 g/cm<sup>3</sup> (limite superior de especificação).

### 3.3.2 Absorção de plastificante à frio (CPA)

O CPA (“*Cold Plasticizer Absorption*”) em resinas de PVC se refere a habilidade do pó de PVC em absorver plastificante a temperatura ambiente, portanto, dá uma medida da porosidade interna do polímero. Esse parâmetro de qualidade afeta a resina no modo em como os compostos serão formados, pois interfere diretamente em como o grão irá absorver aditivos e plastificantes. O CPA também indica a facilidade de remoção do MVC residual (MVCr) proveniente da reação de polimerização nas partículas e do melhor nível de gelificação do material fundido. A absorção efetiva dos plastificantes e aditivos garante que estes estarão interagindo com as moléculas do PVC durante as diversas etapas do processamento (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Uma das técnicas utilizadas para sua análise em laboratório é a de absorção de plastificante a frio com centrifugação. Ela consiste na saturação da resina de PVC com plastificante (normalmente Di Octil Ftalato - DOP) e posterior retirada do excesso não absorvido pelas partículas por meio da aplicação de força centrífuga (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). Retirado o excesso de plastificante, determina-se o ganho de massa da resina em termos de porcentagem de plastificante absorvido. O resultado é expresso em partes de DOP absorvido por 100 partes de resina (p.c.r.).

Algumas técnicas durante o processo podem ser utilizadas para o controle de CPA, a citar, ajuste no sistema de dispersante secundário, temperatura de reação, conversão e agitação do reator. É ainda importante considerar que a resina de PVC deve apresentar nível de porosidade semelhante entre as partículas. Caso a resina apresente partículas de baixa porosidade, essas podem eventualmente apresentar-se como pontos duros no produto final.

O *grade SP 600RX* possui baixa CPA, já que este parâmetro é entendido como o inverso da Densidade Volumétrica, possuindo uma faixa de especificação variando entre 20,0 à 30,0 p.c.r.

### 3.3.3 Distribuição granulométrica (granulometria)

A granulometria do PVC se refere a uma medida indireta da distribuição média do tamanho de suas partículas em faixas pré-definidas. Para este tipo de resina, a faixa de tamanho de partícula típica obtida pelo processo de polimerização em suspensão situa-se entre 50 e 250  $\mu\text{m}$ , com o diâmetro médio desta na faixa de 100 a 150  $\mu\text{m}$  (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Esse parâmetro de qualidade é influenciado por alguns fatores de processo, a citar, ajustes de concentração no sistema de dispersante primário, pH do meio reacional, agitação do reator e nível de oxigênio do sistema, sendo a granulometria da partícula um parâmetro que tem efeito sobre outras propriedades da resina, tais como a Densidade Aparente, CPA, as características de fluxo do pó e as propriedades gerais de mistura e processamento (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Nas indústrias de PVC, algumas técnicas são utilizadas para determinação do tamanho de partícula e sua distribuição, desde as mais simples até as mais complexas. O objetivo de todas as técnicas de medição de tamanho de partícula é fornecer um número indicativo do tamanho delas. Contudo, estas são objetos tridimensionais, os quais requerem ao menos três parâmetros (comprimento, altura e largura) para uma completa descrição. Muitas técnicas de medição de tamanho de partículas assumem que o material é esférico e reportam o seu tamanho como o diâmetro de esfera equivalente, que daria uma resposta semelhante à partícula medida. O método mais simples de determinação da granulometria da partícula é por meio do peneiramento da resina em malhas previamente selecionadas. Este tipo de método consiste em se agitar, num tempo fixo, uma massa conhecida de resina de PVC, em um conjunto de peneiras postas em ordem decrescentes de abertura de suas malhas. Em seguida, é determinado o percentual de partículas retido em cada uma das peneiras.

A fim de especificar a granulometria do *grade* SP 600RX, são utilizadas seis peneiras de diferentes tamanhos de abertura de malha que determina o tamanho da partícula de PVC em cada uma delas (250, 150, 125, 106, 75 e 63 $\mu\text{m}$ ), na qual malha uma possui uma faixa de especificação, em porcentagem. A Tabela 1 comporta os limites de especificação da granulometria do PVC em cada uma das peneiras utilizadas.

Tabela 1 - Limites de Especificação da granulometria do PVC.

Tamanho da partícula ( $\mu\text{m}$ )	Limite Inferior de Especificação (%)	Limite Superior de Especificação (%)
250	0	1,0
150	0	30,0
125	0	30,0
106	0	20,0
75	0	10,0
63	0	9,0

Fonte: Autora, 2024.

### 3.3.4 Valor K (VK)

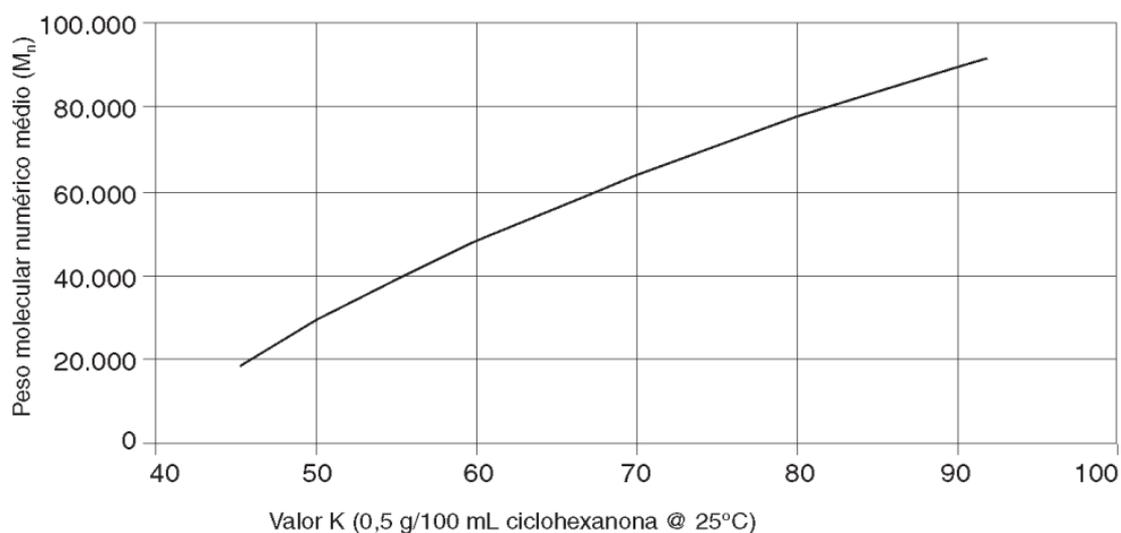
Em resinas de PVC, o Valor K pode ser entendido como uma medida indireta de seu peso molecular, na qual é normalmente caracterizado por parâmetros relacionados à viscosidade do polímero em solução diluída (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). O VK também está diretamente relacionado com o grau de polimerização do PVC, podendo ser entendido como o tamanho de sua cadeia polimérica, portanto, este parâmetro é como se fosse a identidade da resina. Cada *grade* de PVC, que é processado e utilizado para um determinado fim específico, é diferenciado um do outro devido ao seu Valor K.

Existem alguns fatores que podem ser afetados pelo parâmetro VK em resinas de PVC, a citar, suas propriedades mecânicas (quanto maior o Valor K, maior as propriedades mecânicas), já que este está diretamente relacionado à viscosidade da resina; fatores de processabilidade (quanto menor o Valor K, maior o índice de fluidez), ou seja, como o tamanho da cadeia polimérica da resina é menor, esta flui com mais facilidade) e; temperatura de fusão (quanto menor o Valor K, menor é a temperatura necessária para a fusão da cadeia de PVC). A temperatura da reação de polimerização é o principal ponto de controle do Valor K. Quanto menor for esta temperatura, maior é a formação da cadeia polimérica do PVC, ou seja, maior o Valor K. Isso se deve ao fato de a reação de polimerização ser baseada em mecanismos via radicais livres, ou seja, maiores temperaturas implicam em maiores taxas de decomposição dos iniciadores, implicando em uma maior quantidade de espécies radiculares disputando o monômero não reagido (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Para determinação do VK, os laboratórios industriais de PVC podem utilizar alguns métodos, sendo o mais comum o que utiliza viscosímetros capilares. O método de ensaio

consiste em medir a viscosidade de uma solução de PVC em um reagente (normalmente ciclohexanona), usando um viscosímetro capilar e comparando o tempo de fluxo com o do solvente puro. A Figura 5 explana um gráfico que relaciona o Valor K e o peso molecular numérico médio de resinas de PVC, utilizando o reagente ciclohexanona.

**Figura 5 - Relação entre o valor K e o peso molecular numérico médio de resinas de PVC.**



Fonte: Fonte: Nunes; Rodolfo; Ormanji, 2006.

O Valor K é um parâmetro de qualidade do PVC que não possui unidade de medida. O *grade* SP 600RX possui uma estreita faixa de especificação desse parâmetro, variando entre 80,0 (limite de especificação inferior) e 83,0 (limite de especificação superior).

### 3.3.5 Estabilidade térmica (ET)

A estabilidade térmica do PVC e seus compostos, a uma certa temperatura, pode ser definida como o tempo necessário para que haja manifestação de degradação da resina, seja por certa quantidade de HCl liberado quanto por uma certa intensidade de cor desenvolvida (NUNES; RODOLFO; ORMANJI, 2006). Ela é função tanto dos aditivos incorporados à batelada na reação de polimerização quanto do histórico térmico à qual o PVC foi submetido. A presença de íons metálicos em grandes quantidades na água desmineralizada (AD) utilizada no processo de polimerização também pode trazer problemas na estabilidade térmica do produto final.

Em resinas de PVC, a estabilidade térmica aumenta com o aumento do peso molecular (parâmetro VK) do polímero. Quanto maior o VK, menor o número de finais de cadeia na

estrutura molecular do PVC, que são pontos de maior volume livre, suscetíveis à entrada de oxigênio, que por sua vez é indesejável à reação de polimerização. Este pode provocar reações de oxidação, com formação de grupos hidroperóxidos, peróxidos, carbonilas e carboxilas, que são grupos ativadores da reação de iniciação para a desidrocloração, que resulta em um rápido processo de degradação da resina por liberação de cloreto de hidrogênio (HCl) (RODOLFO; MEI, 2007).

A análise da Estabilidade Térmica do PVC pode ser feita por meio de duas técnicas: avaliação da estabilidade térmica da resina pura ou na forma de composto. Se tratando da segunda técnica, corpos de prova de um composto de PVC são submetidos a um tratamento térmico em banho de óleo. Após períodos de tempos pré-determinados, os corpos de prova são retirados para se obter um gradiente de cor, o qual inicia com a cor original (tempo zero) até a degradação total, caracterizada pela cor preta. Este tipo de técnica em que se utiliza compostos de PVC é mais complexa, já que os efeitos da formulação utilizada impactam imediatamente nos resultados dos ensaios.

O *grade* SP 600RX possui uma estreita faixa de especificação de ET, variando entre 15 minutos (limite de especificação inferior) e 23 minutos (limite de especificação superior).

### 3.3.6 Contaminação

A contaminação em resinas de PVC pode ser definida como toda e qualquer partícula de cor ou forma diferente das partículas normais da resina de PVC, que se destaque sob observação visual. Este parâmetro de qualidade é importante de ser acompanhado, pois pode afetar visualmente a qualidade do produto final das indústrias transformadoras, como também gerar defeitos nas mercadorias acabadas.

A contaminação em resinas de PVC pode ser gerada a partir de diversas fontes, seja durante a sua produção, transporte, mistura ou processamento. Os contaminantes podem se apresentar em diversas formas: resina queimada e plastificada, ferrugem, areia, resquícios de químicos usados na polimerização, fibras de papel, casca de reator, arraste de partículas nos sistemas de transporte ou até mesmo nos silos de armazenamento, entre outras (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). A Figura 6 representa uma amostra de PVC com contaminação elevada.

**Figura 6 - Amostra de PVC com elevado grau de contaminação.**



Fonte: Autora, 2024.

A análise de contaminação em resinas de PVC é realizada, na maioria dos casos, através da observação visual e contagem das partículas escuras ou de natureza metálica em um negatoscópio (Figura 7), na qual é determinado o grau de contaminação de uma amostra. A observação visual pode ser substituída por equipamentos automatizados de captação e análise de imagens, que permitem a contagem e estratificação dos contaminantes em função de forma, tamanho ou coloração.

**Figura 7 - Equipamento para determinar a Contaminação no PVC (Negatoscópio).**



Fonte: Autora, 2024.

O *grade* SP 600RX possui uma ampla faixa de especificação de Contaminação, que varia entre 0 e 20 pontos de contaminantes, quando comparado à grades de aplicação hospitalar, por exemplo, em que esta faixa cai pela metade.

### 3.3.7 MVC residual (MVCr)

O MVCr do PVC se refere ao teor de monômero não reagido presente na partícula de polímero. O monômero cloreto de vinila, por se tratar de um agente cancerígeno, precisa estar presente no PVC dentro de limites considerados em conformidade com a legislação. Portanto, as plantas de produção de PVC atendem a normas rígidas de saúde ocupacional, mantendo os níveis de MVC constantemente monitorados, de modo também a garantir um baixo risco de exposição dos trabalhadores desses locais.

Após a reação de polimerização, a lama de PVC é enviada para um pós-reator por ainda conter de 8 a 15% de MVC absorvido nela, a fim de recuperar o teor de monômero não reagido, para que ele possa ser tratado e enviado novamente ao sistema. Posteriormente, o teor de MVC ainda restante na partícula é removido por meio de um processo de *stripping*, até que o PVC se encontre especificado por legislação, que para alguns *grades* de aplicação hospitalar, por exemplo, o limite é de até 1 ppm de MVCr.

O teor de MVCr na resina de PVC é determinado em laboratório por meio de técnicas de cromatografia gasosa e é função direta das condições de polimerização, pós-tratamento e, principalmente, de sua porosidade interna (CPA). Resinas mais porosas permitem a remoção do MVC residual com maior facilidade, enquanto resinas de baixa porosidade apresentam maior dificuldade de eliminação. O *grade* SP 600RX possui baixa CPA, portanto a faixa de especificação de MVCr para este é de 0 a 7 ppm, que é ampla quando comparada aos *grades* hospitalares de CPA mais alta.

### 3.3.8 Roll fish-eyes (RFE)

*Roll Fish-Eyes* em resinas de PVC são partículas duras e brilhantes que não plastificam quando submetidas às condições específicas de processamento, também denominado infundidos. Para efeito de contagem, consideram-se *fish-eyes* os pontos brilhantes, perceptíveis a olho nu, cujo tamanho seja maior ou igual a 100 micras. Também denominado de “géis”, os *fish-eyes* podem ocasionar pontos de tensão no produto acabado, visualmente impactando a qualidade do produto final do cliente.

A ocorrência de *fish-eyes* em resinas de PVC depende principalmente das condições de polimerização e dos reatores, bem como pode ser ocasionada pela distribuição não homogênea do iniciador nas gotas de MVC na reação. Os géis podem gerar partículas com baixa porosidade em meio às partículas de resina com porosidade normal.

Existem algumas medidas de controle que podem ser aplicadas em uma unidade industrial a fim de controlar a ocorrência de *Roll Fish-Eyes* na resina de PVC, a citar, a realização de lavagens periódicas nos reatores de polimerização, aplicação de antiaderente entre as bateladas, aplicação de antipolimerizante e fazer o uso de antiespumantes.

O *Fish-Eyes* é determinado misturando-se aditivos na resina e levado esse composto formado à calandra, para passar por um processo de plastificação. Depois de um determinado período de tempo, é retirado um crepe para leitura dos infundidos, com o auxílio de um negatoscópio.

O *grade* SP 600RX possui uma ampla faixa de especificação de *Roll Fish-Eyes*, que varia entre 0 e 15 pontos.

### 3.4 Casca em Resinas de PVC

A casca em resinas de PVC também é um parâmetro de qualidade, que pode ser definido como as partículas com granulometria maior que 500 micras ( $Gran > 500 \mu m$ ). Estudos apontam que essas partículas comprometem o processamento do polímero quando ocorre a incorporação de aditivos nas indústrias transformadoras, por esse motivo, a casca se torna indesejável ao processo de fabricação de PVC. Desse modo, ela acaba ocasionando pontos infundidos no produto final. São partículas com morfologia indefinida, que se apresentam bem maior do que o tamanho normal de um grão de PVC. A Figura 8 ilustra um comparativo entre uma amostra do *grade* SP 600RX (recipiente de cor preta, à esquerda), de morfologia regular e definida, com uma amostra de casca (recipiente de cor amarelo, à direita) encontrada em uma análise de rotina durante a produção desse *grade*.

**Figura 8 - Comparativo entre uma amostra de PVC "padrão" e uma amostra de casca.**



Fonte: Autora, 2024.

Existem algumas variáveis de processo que podem contribuir na formação de casca durante a produção de PVC. Como este parâmetro de qualidade está relacionado com a morfologia do grão, o sistema dispersante escolhido para ser utilizado na reação é de extrema importância, uma vez que este define tanto o tamanho das partículas da resina produzida quanto sua estrutura morfológica interna. As gotas de monômero são estabilizadas, na fase aquosa contínua, por meio do efeito combinado de agitação vigorosa no reator e da presença de agentes dispersantes (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). A agitação influencia três fenômenos principais: a coalescência, ou seja, a tendência de as gotas sofrerem aglomeração; a fragmentação, ou seja, tendência de as gotas grandes serem divididas em gotas menores e; a estabilidade da gota, ou seja, velocidades muito baixas de agitação podem ser insuficientes para manter a estabilidade delas, uma vez que gotas excessivamente grandes podem sofrer separação do sistema devido à diferença de densidade (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006). Outras variáveis que podem influenciar na formação de cascas no PVC, pois afetam diretamente a morfologia das partículas, são a razão monômero/água e a presença de oxigênio durante a reação. Excesso de monômero em relação à fase aquosa provoca instabilidade e distorção grosseira na distribuição de tamanho de partícula e a presença de traços reduzidos de oxigênio durante a reação de polimerização tem efeito adverso tanto nas propriedades químicas quanto físicas da resina obtida.

De acordo com a EP, a faixa de especificação para casca, no *grade* SP 600RX, varia entre 0 à 5 ppm. Os resultados das análises dos parâmetros de qualidade das resinas precisam ser confiáveis e estáveis, pois serão eles que definirão se um lote é classificado como “*on spec*” (dentro de especificação) ou “*off spec*” (fora de especificação). Lotes “*off spec*” somente são

destinados para alguns tipos de clientes, dependendo da aplicação final, não sendo destinados, por exemplo, para indústrias produtoras de artigos alimentícios ou hospitalares.

A caracterização das partículas de casca no PVC é descrita em Instrução de Trabalho e essa caracterização é feita de uma maneira diferente da análise de Granulometria, descrita no item 3.3.3 desse trabalho. A análise de casca consiste em uma análise manual, na qual o operador/analista deve transferir pequenas porções de uma amostra de 2 kg de PVC (que é representativa de um lote ou de um período de tempo de processo) para uma peneira de malha previamente especificada e, após o peneiramento completo da amostra, observar a olho nu se ficaram retidas partículas que caracterizam casca. Em caso positivo, deve-se transferir esses resíduos para um papel vegetal (previamente tarado em balança analítica), realizar a pesagem desses resíduos e, por fim, calcular, de acordo com a Equação 1, o teor de casca presente.

$$\text{Casca (ppm)} = \frac{\text{Peso Resíduos (g)} \times 1000}{\text{Peso da amostra (kg)}} \quad (1)$$

### 3.5 DMAIC

A sigla DMAIC é a abreviação das palavras em inglês: Define, Measure, Analyze, Improve e Control, que em português significa: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Ela é uma ferramenta de gestão da qualidade utilizada na metodologia *Lean Six Sigma*, que é utilizado como um tipo de roteiro dentro de indústrias e grandes organizações, pois orienta o desenvolvimento dos processos que controlam o fluxo do trabalho. Sua linha de raciocínio permite que seja feita uma análise técnica e mais precisa de um ou mais problemas como um todo e isso impede que decisões precipitadas sejam tomadas e que a ação ocorra diretamente na causa raiz do problema (LEÃO, 2022).

Na etapa de “Definir”, é exposto com clareza qual é, ou quais são, os problemas ou oportunidades de melhorias a serem abordados. É realizado o levantamento dos dados necessários para caracterizar o problema e feito o escopo do projeto. Nesta etapa também é definida a equipe que irá participar e ajudar nas demais etapas do DMAIC e também são escolhidos os indicadores de performance que serão abordados e controlados ao fim do projeto.

Na etapa de “Medir”, é avaliado o desempenho do processo, com o objetivo de levantar as possíveis causas potenciais do problema, de modo qualitativo ou quantitativo.

Na etapa de “Analisar”, é priorizada e comprovada quais são as causas raízes do problema (também chamadas de X's vitais), que afetam o processo de forma significativa e

geram variabilidade no resultado de interesse (também denominado variável Y). Ela é feita a partir da análise dos dados elencados anteriormente na etapa de medição.

Na etapa de “Melhorar”, é desenvolvido, testado e executado soluções adequadas, a partir de um plano de ação definido para solucionar as causas raízes do problema. Esta etapa do DMAIC visa basicamente três aspectos: testar possíveis ações, observando prós e contras; executar o plano de ação de acordo com as necessidades de cada processo e; implementar as mudanças.

Por fim, na etapa de “Controlar”, busca-se o desenvolvimento contínuo por meio do monitoramento e controle dos resultados obtidos após a implementação das melhorias, sendo primordial para garantir que estas sejam sustentáveis e se mantenham com o tempo.

### 3.5.1 Principais Ferramentas Utilizadas no DMAIC

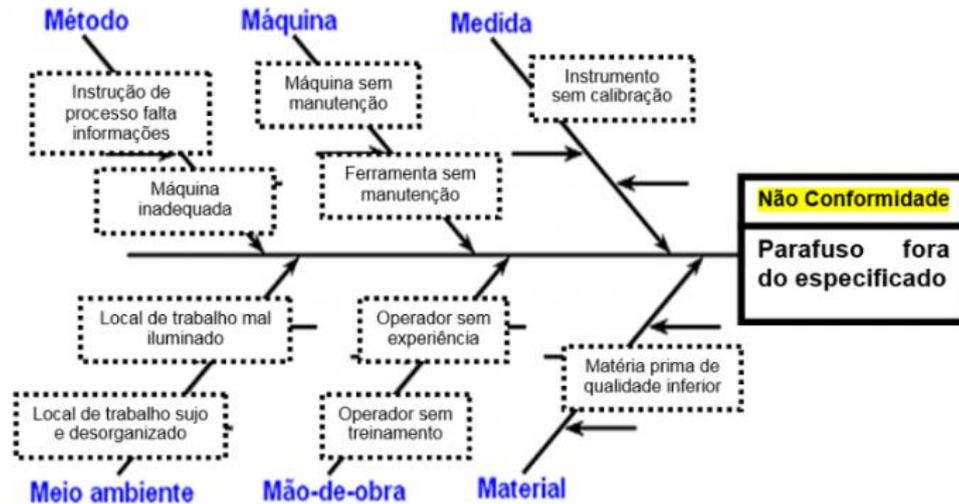
#### 3.5.1.1 Diagrama de Ishikawa

Também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe, este método foi desenvolvido pelo professor Kaoru Ishikawa em meados da década de 1990. Por se tratar de um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio em discussões de um problema prioritário, em processos diversos, especialmente na produção industrial, esta ferramenta se torna indispensável na fase de Medição do DMAIC.

O diagrama é utilizado para investigar causa e efeito de um determinado problema. Os fatores adotados como base para a investigação das causas são chamados de 6M, pois se tratam da Matéria-prima, Máquina, Medida, Meio ambiente, Mão de obra e Método. Por meio dessa análise minuciosa, torna-se possível encontrar as causas de um problema, de forma estruturada, e seus efeitos em relação aos processos e suas qualidades (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010).

Essa ferramenta geralmente é adotada em conjunto com a de brainstorming, isto porque o método de levantamento de ideias funciona adequadamente no processo de investigação das causas do diagrama, que geralmente é feita com uma equipe multidisciplinar. A Figura 9 ilustra um Diagrama de Ishikawa, demonstrando como exemplo para o problema fictício de um parafuso fora do especificado e as causas para esse problema foram elencadas de acordo com os 6M.

Figura 9 - Diagrama de Ishikawa, ilustrado para um problema fictício de parafuso fora do especificado.



Fonte: Miranda, 2008.

### 3.5.1.2 5W2H

A ferramenta 5W2H se trata de uma planilha de atividades, prazos e responsabilidades enquadrada na etapa de Melhoria do DMAIC, para que se tenha mais clareza e eficiência por todos os envolvidos no projeto. A 5W2H Tem como função definir o que será feito, porque, onde, quem irá fazer, quando será feito, como e quanto custará (DE PAULA, 2015).

De maneira bem prática, a ferramenta baseia-se nas respostas às sete perguntas, que em inglês dão origem à sigla técnica. São elas:

- What? (O quê?)
- Who? (Quem?)
- Where? (Onde?)
- When? (Quando?)
- Why? (Por quê?)
- How? (Como?)
- How much? (Quanto?)

O Quadro 1 oferece uma orientação para aplicação da técnica 5W2H, de forma a facilitar o entendimento:

Quadro 1 - Explicação da metodologia 5W2H.

<b>Passos</b>	<b>Conteúdo das respostas</b>	<b>Exemplo de perguntas</b>
<b>What</b>	Ações necessárias ao tema analisado	- O que deve ser ou está sendo feito? - Quais os insumos do problema? - O que se pretende extrair? - Quais os métodos utilizados?
<b>Why</b>	Justificativas das ações	- Por que ocorre este problema? - Por que executa desta forma? - Para que atuar neste problema?
<b>Where</b>	Locais influenciados pelas ações	- Onde ocorre o problema? - Onde é preciso atuar para resolvê-lo?
<b>Who</b>	Responsabilidades pelas ações	- Quem são os agentes envolvidos? - Quem conhece melhor o processo? - Quais pessoas deverão executar o plano de ação?
<b>When</b>	Definição de prazos	- Quando começar e terminar? - Quando deverão ser executadas cada etapa?
<b>How</b>	Métodos a serem utilizados	- Como será executado o plano? - Como registrar as informações necessárias? - Como definir as etapas do processo?
<b>How much</b>	Definição de orçamento	- Quanto será o custo envolvido? - Quanto custa corrigir o problema?

Fonte: Campos, 2004.

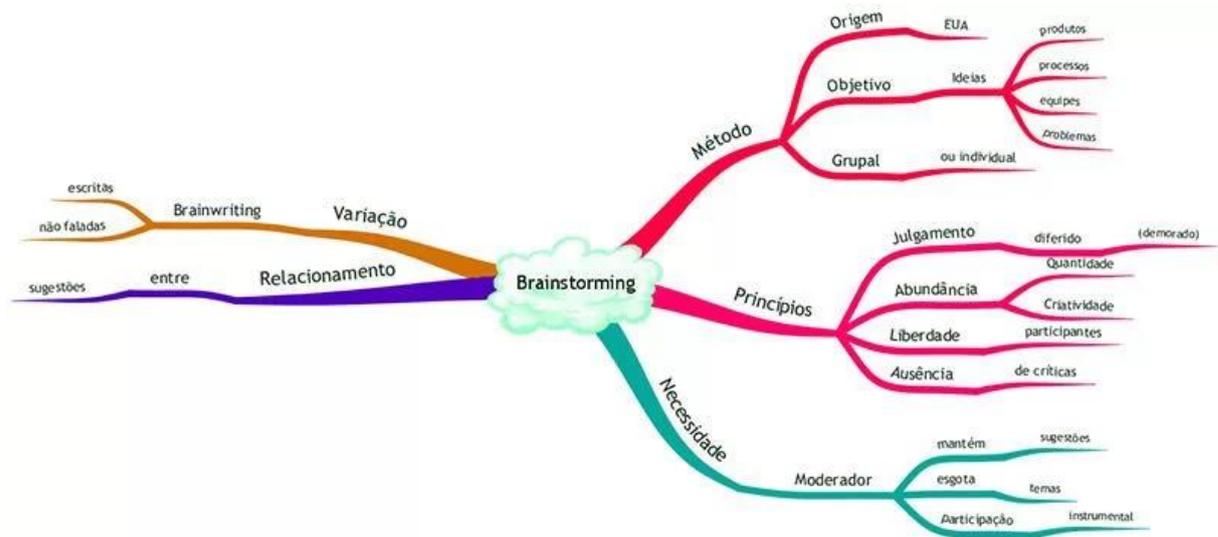
### 3.5.1.3 Brainstorming ou tempestade de ideias

O brainstorming consiste em uma técnica utilizada para propor soluções a um problema específico. Se trata de uma reunião, também chamada de tempestade de ideias, na qual os participantes devem ter liberdade de expor suas sugestões e debater sobre as contribuições dos colegas (PATEL, 2024). Uma das principais premissas desta ferramenta é a capacidade de difundir a sinergia em grupos de trabalho e, para isso, deve-se focar no resultado desejado e evitar que problemas oriundos do ambiente organizacional exerçam sua influência durante a atividade (CAMPOS, 1995).

Arioli (1998) aborda o brainstorming como uma metodologia de levantamento de hipóteses, sem critérios aprofundados ou restrições, permitindo a livre expressão do grupo. Os

pensamentos são lançados num ambiente informal, de modo que os componentes do grupo possam usar da criatividade para gerar o máximo de ideias possível. Ainda que as opiniões não possuam nexos, estas não devem ser descartadas, pois podem levar ao desencadeamento de ideias pertinentes e aplicáveis na próxima etapa do DMAIC. A Figura 10 apresenta a ilustração do brainstorming.

Figura 10 - Exemplo de brainstorming.



Fonte: Macedo, 2012.

#### 3.5.1.4 Matriz causa e efeito

A Matriz de Causa e Efeito é uma ferramenta que irá auxiliar, através da definição, identificação e priorização de causas, quais são as raízes e seus impactos dentro de um problema. Esse tipo de matriz possibilita entender o processo sobre o qual está inserido a oportunidade (problema), de uma maneira mais analítica. Dessa forma, após selecionar as variáveis que mais tem influência no problema em que se quer tratar, ou seja, após o brainstorming e a construção do Diagrama de Ishikawa, as causas encontradas serão encaixadas na Matriz de Causa e Efeito. Esta é a situação mais comum para se utilizar essa matriz, porém, a mesma pode ser aplicada em várias outras situações.

Após o levantamento das causas do problema na etapa de Medição do DMAIC, a Matriz de Causa e Efeito deve ser aplicada na próxima etapa, que é a de Análise. As causas do problema serão chamadas de entradas do processo (X's), enquanto o problema, ou os problemas, do processo serão a(s) saídas (Y's). É definido um peso, que varia de 5 a 10, para cada saída do processo e a relação entre cada entrada e cada saída é estabelecida como: “não existe

correlação”; “correlação fraca”; correlação moderada” ou; “correlação forte”. Então, para cada uma dessas correlações, são estabelecidas “notas”, ou seja, um grau de correlação, que pode ser: 0 (caso não haja correlação); de 1 a 3 (baixa correlação); de 4 a 7 (média correlação) ou; de 8 a 10 (caso o X tenha uma forte correlação com Y). Após isso, o valor de cada correlação é multiplicado pelo peso de cada saída, para que assim defina se o esforço para a eliminação daquela causa é baixo ou alto.

A Figura 11 ilustra um exemplo de Matriz Causa e Efeito para aplicada no setor *Call Center*. Havia problemas na qualidade do atendimento, no tempo de espera e no tempo de atendimento (Y’s do processo). Possíveis causas foram estabelecidas para estes problemas, como falta de padronização de processo, falta de treinamento, sistema/ERP lento, entre outras (X’s). Notas foram estabelecidas para a correlação de cada causa ao problema (números de 0 a 10). Por fim, na coluna total da figura tem-se a soma das multiplicações entre causa e efeito e o respectivo esforço necessário para o tratamento de cada causa.

**Figura 11 - Exemplo de Matriz Causa e Efeito.**

MATRIZ DE CAUSA E EFEITO											
P: Atendimento via Call Center		Setor		Call Center							
Análise Causa x Efeito		Efeito						ANÁLISE DE CAUSA x EFEITO			
		Nível de Importância ( Notas de 1-10 )						Total	Esforço de Eliminação da Causa		
Causa	10	5	6								
		Qualidade no atendimento	Tempo de espera	Tempo de atendimento							
1	Falta de padronização de processo	9	0	3						108	Baixo
2	Falta de Treinamento	9	3	3						123	Alto
3	Sistema/ERP lento	3	3	9						99	Baixo
4	Sistema/ERP confuso para encontrar informações solicitadas pelo cliente	3	1	9						89	Alto

Fonte: Autora, 2024.

### 3.5.1.5 Matriz esforço impacto

A Matriz de Esforço e Impacto é uma ferramenta para priorização de tarefas. Ela divide os afazeres em 4 grupos, classificando-os de acordo com o impacto gerado e o esforço despendido. Ainda na etapa de Análise do DMAIC, com as causas priorizadas oriundas da Matriz Causa e Efeito, a Matriz Esforço Impacto irá gerar consciência sobre a utilização do tempo para que seja possível planejar as ações e eliminar as causas do problema na próxima etapa do DMAIC, a de Melhoria.

A matriz é dividida em dois eixos, vertical e horizontal (Y e X, respectivamente). O primeiro, que trata do esforço, leva em consideração o tempo, energia, dinheiro ou recursos humanos que serão empregados na tarefa. Já o segundo, que trata do impacto, leva em consideração o que a tratativa da causa em questão irá trazer como resultado e consequência à empresa, que pode estar relacionado ao lucro, satisfação do cliente, entre outros.

Os quadrantes em que a matriz de esforço e impacto está dividida funcionam da seguinte maneira, de acordo com a Figura 12.

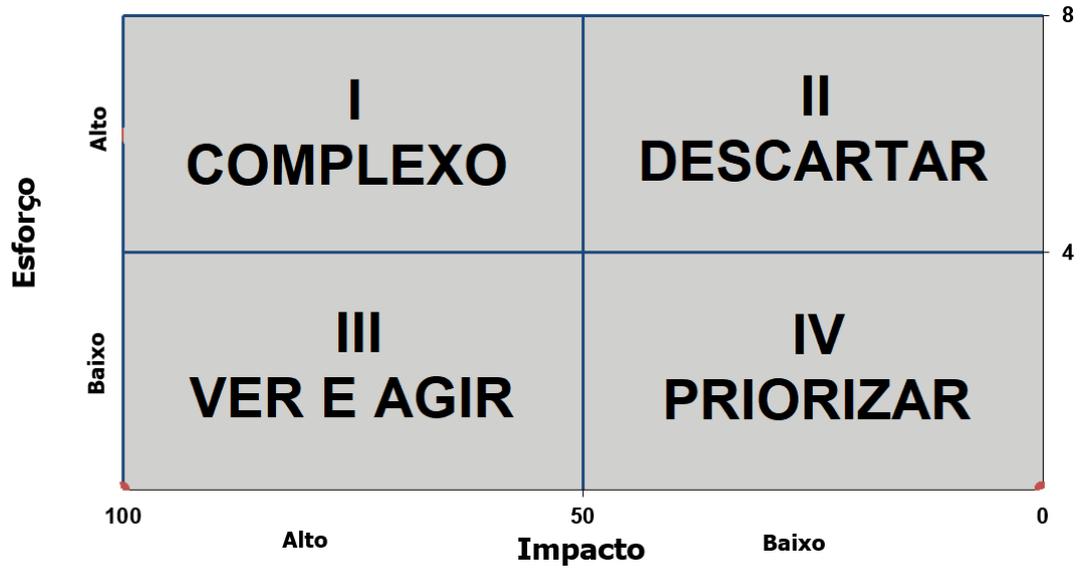
- Quadrante I: essas ações são importantes, mas têm difícil execução. Elas exigem disciplina, melhorias constantes e paciência. Por isso, devem ser tratadas com cuidado. Nesse caso, vale a pena investir tempo para planejar como as ações serão executadas, pois isso facilitará todo o processo;

- Quadrante II: além de possivelmente nocivo para a saúde financeira da empresa, o segundo quadrante é desestimulante, pois faz com que as equipes gastem sua energia sem ver qualquer tipo de resultado. Caso alguma dessas tarefas seja realmente necessária, é preciso procurar maneiras mais criativas e divertidas de fazê-la;

- Quadrante III: este quadrante traz as tarefas produtivas, que são aquelas que geram mais resultados com menor esforço. Essas ações devem ser executadas imediatamente, o máximo que a empresa. Além de trazer recompensas rápidas, o terceiro quadrante ajuda a estimular a equipe;

- Quadrante IV: tarefas do quarto quadrante não são completamente inúteis, mas podem ser perigosas. Por exigirem pouco esforço, costumam ser atrativas. Porém, o problema é que os resultados gerados também são baixos. Então, é necessário estar atento a esse grupo e levar em consideração se esses afazeres são realmente necessários. Caso sejam, o ideal é reservar curtos períodos para fazê-los, por exemplo, quando a equipe estiver cansada de tarefas maiores.

Figura 12 - Matriz de Esforço e Impacto.



Fonte: Autora, 2024.

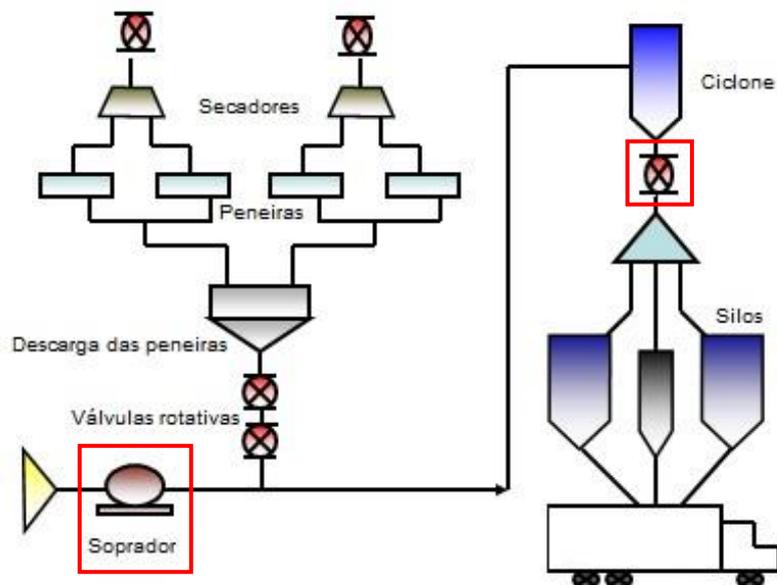
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Problemática de Variabilidade

O presente trabalho foi desenvolvido em uma indústria de PVC, com nome fictício “Poliquímica”, onde observou-se uma variabilidade nos resultados de análise de casca em uma das resinas produzidas, a SP 600RX. A análise de casca é realizada em dois pontos de amostragem da planta. O primeiro ponto é na descarga soprador, na qual é realizada com intervalos de quatro horas pelos operadores da planta, tendo como objetivo o controle do processo, pois, caso haja a ocorrência de casca, a equipe de engenharia toma ações com a resina ainda presente no soprador, antes de formar os lotes. O segundo ponto de amostragem é proveniente das amostras de uma válvula dosadora instalada no topo dos silos. Essa válvula é responsável por dosar, com uma frequência pré-estabelecida, quantidades de PVC para um “bag” que será representativo de um lote. Essas amostras são enviadas para o Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ) da planta, na qual serão realizadas, pelos analistas do LCQ, todas as análises de qualidade que a Especificação de Produto (EP) contempla, na qual a análise de casca é uma delas.

O Fluxograma 2 ilustra o sistema de transporte pneumático de PVC da indústria “Poliquímica”, onde está representado (delimitação vermelha) os pontos de amostragem de casca.

Fluxograma 2 - Pontos de amostragem de casca.



Fonte: Autora, 2024.

Esses valores de medição deveriam ser o mais próximo possível, porém, foi observado que existe uma diferença significativa entre esses dois pontos de amostragem.

## 4.2 Aplicação do DMAIC

A metodologia utilizada para diminuir a variabilidade dos resultados das análises de casca nos dois pontos de amostragem da planta foi o DMAIC, ferramenta de resolução de problemas que visa a melhoria contínua e o alto desempenho de processos. Ele é dividido em uma sequência de cinco etapas: Definição, Medição, Análise, Melhoria e Controle, na qual atua diretamente na causa raiz do problema, que neste caso é a diferença de valores de medição de casca em dois pontos de amostragem da planta de PVC “Poliquímica”.

### 4.2.1 Etapa de definição

Na etapa de Definição, a problemática de variabilidade dos valores de medição de casca entre os pontos de amostragem da indústria Poliquímica foi evidenciado, por meio de ferramentas de qualidade como Gráficos de Dispersão e *Boxplot*, na qual foram apontados os valores numéricos que mostram que existe uma diferença.

Pode-se listar algumas perguntas importantes que foram feitas nesta etapa:

- Qual é o problema a ser resolvido?
- Esse problema tem relevância financeira para empresa e é viável?
- Qual será a meta a ser atingida e o ganho financeiro esperado?
- Quais são as pessoas (equipe) que irão trabalhar e ajudar no projeto?
- Qual o cronograma do projeto?

### 4.2.2 Etapa de medição

Na etapa de medição, foram aplicados dois modos de análise, qualitativo e quantitativo. No primeiro, as causas foram mapeadas com a ajuda de uma equipe multidisciplinar e a ferramenta de Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa) foi utilizada para expor as possíveis causas, que foram elencadas em seis grupos: Matéria prima, Meio ambiente, Método, Medição, Mão de obra e Máquina. Esse diagrama também é chamado de “Método 6M”.

No segundo modo de análise, quantitativo, dados numéricos foram coletados para validar o problema, que no caso deste trabalho foram os dados de diferença entre médias e desvio padrão dos pontos de amostragem da planta, que serviram como indicador para analisar comportamentos e estatísticas.

#### 4.2.3 Etapa de análise

Na etapa de análise, foram aplicadas duas ferramentas de qualidade:

- Matriz Causa e Efeito: é uma matriz utilizada para a priorizar as entradas de um processo de acordo com o impacto que elas provocam em cada uma das saídas; no caso deste trabalho, ela serviu para priorizar as ações a serem tomadas mediante à problemática que está ocorrendo na indústria Poliquímica.

- Matriz Esforço x Impacto: complementa a matriz de causa e efeito. Essa ferramenta avalia suas variáveis de entrada sob a ótica das variáveis esforço para suas análises, mudanças e impacto na variável de saída e prioriza as ações a serem tomadas.

#### 4.2.4 Etapa de melhoria

Na etapa de melhoria, um plano de ação foi criado para sanar os problemas elencados na etapa anterior com a Matriz Esforço x Impacto, na qual as causas do problema foram priorizadas. Além disso, nessa etapa também foi avaliado os resultados e impactos das melhorias que foram implantadas.

A ferramenta de qualidade que foi utilizada na melhoria é a “5W2H” que é uma planilha de atividades, prazos e responsabilidades que foram desenvolvidas com clareza e eficiência. Essa ferramenta teve como função definir o que foi feito, porque, onde, quem irá fazer, quando será feito, como e quanto custará. A sigla é formada pelas iniciais, em inglês, das sete diretrizes que, quando bem estabelecidas, eliminam quaisquer dúvidas que possam aparecer ao longo de um processo ou de uma atividade.

São elas, os “5W” e “2H”:

- “*What*” (o que será feito?);
- “*Why*” (por que será feito?);
- “*Where*” (onde será feito?);
- “*When*” (quando será feito?);
- “*Who*” (por quem será feito?);
- “*How*” (como será feito?);
- “*How much*” (quanto vai custar?).

#### 4.2.5 Etapa de controle

Por fim, na etapa de Controle, foi monitorado e controlado os resultados obtidos após a implementação das melhorias.

Nesta etapa, algumas perguntas foram respondidas, garantindo a eficácia do projeto:

- A meta e os resultados financeiros foram alcançados?
- Quais controles foram estabelecidos para garantir a sustentabilidade das melhorias feitas?
  - Será necessário criar ou atualizar padrões e procedimentos?
  - Quem são os envolvidos que serão treinados?

Deste modo, a ferramenta gráfica utilizada nesta etapa se trata também de gráficos de dispersão, assim como utilizados na etapa de definição do problema. Isso porque, desta forma, foi possível realizar uma comparação para avaliar se houve redução na variabilidade nos valores de medição do parâmetro de qualidade casca, entre soprador e lotes.

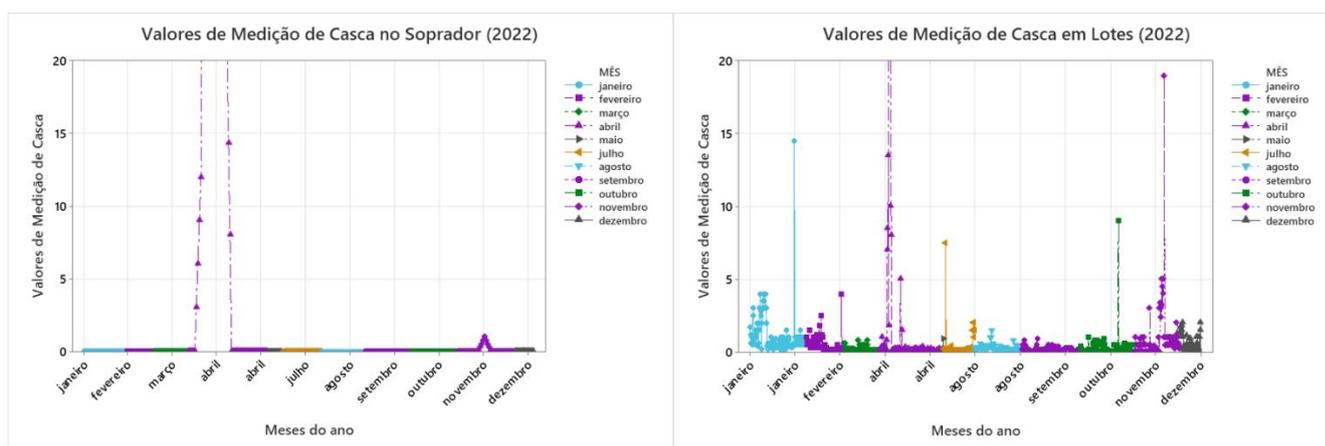
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da implementação da metodologia DMAIC na indústria Poliquímica para o problema de variabilidade nos resultados de medição de casca entre soprador e lotes de PVC, os resultados obtidos com a execução das etapas estão listados a seguir.

### 5.1 Etapa de Definição

A fim de evidenciar e quantificar o problema percebido na indústria Poliquímica, foi utilizado software Aspen Process Explorer®. Este software foi desenvolvido pela Aspen Technology e permite visualizar, de forma gráfica ou por meio de tabelas, dados de processo e parâmetros de qualidade em tempo real. Para o estudo, foram coletados dados durante o ano de 2022 e constatado que a maior parte dessas medições ao longo do ano não indicavam a presença de casca no soprador, porém, esse fato não refletiu nos resultados dos lotes que foram formados no mesmo período. A Figura 13 demonstra graficamente um comparativo entre dados de medição de casca do soprador (gráfico à esquerda) e dados de lotes (gráfico à direita), explicitando a problemática de variabilidade dessas medições para o ano de 2022, na qual é possível observar dois conjuntos de dados distintos.

**Figura 13 - Comparativo de dados de medição de casca entre soprador e lotes.**

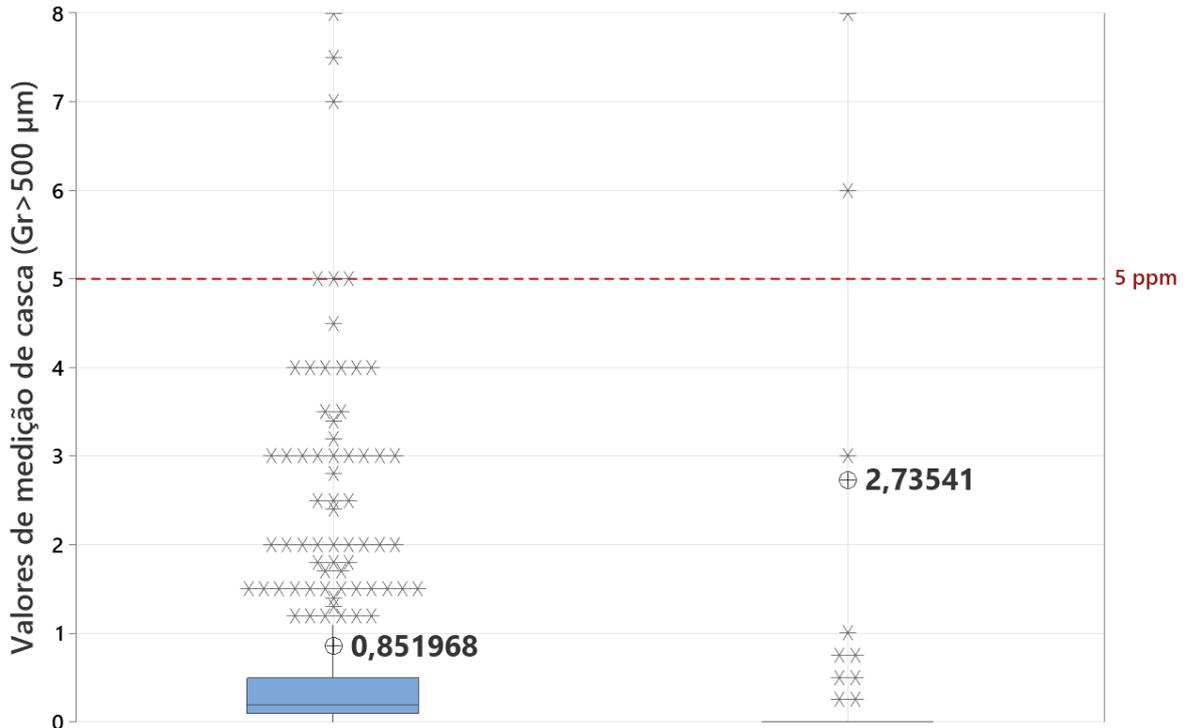


Fonte: Autora, 2024.

Também foi possível observar essa variabilidade graficamente através do *Boxplot*, como é possível visualizar na Figura 14. A linha pontilhada vermelha no valor de 5 ppm se refere ao limite de especificação imposto pela EP para a casca. É possível observar no gráfico que foram formados lotes *off spec* nesse período, ou seja, acima do limite de especificação de 5 ppm de

casca, e que isso não foi identificado no soprador, ou seja, não foi previsto ações de melhoria para sanar a geração de lotes *off spec* com o PVC ainda presente no processo.

Figura 14 - Comparativo entre valores de medição de casca em lotes e soprador no ano de 2022.

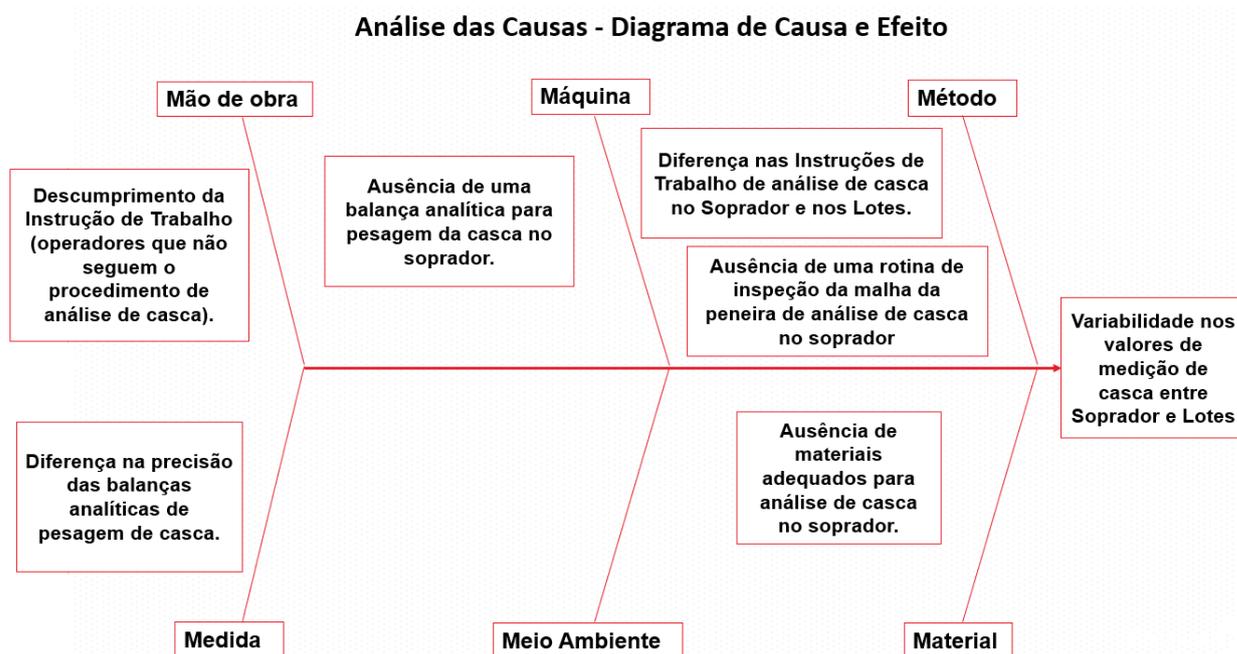


Fonte: Autora, 2024.

## 5.2 Etapa de Medição

Após a caracterização da problemática de variabilidade, as causas do problema foram mapeadas através do Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa) e com o auxílio de um *Brainstorming* realizado por uma equipe multidisciplinar, que contou com engenheiros de produção, engenheiros de processo e operadores da indústria Poliquímica. Esse modo de análise foi qualitativo e, com esse diagrama, seis possíveis causas foram levantadas, divididas em seis grupos: Matéria prima, Meio ambiente, Método, Medição, Mão de obra e Máquina. O Diagrama de Ishikawa e as causas levantadas estão ilustrados na Figura 15.

**Figura 15 - Diagrama de Ishikawa para problemática de variabilidade dos valores de medição de casca entre Soprador e Lotes de PVC.**



Fonte: Autora, 2024.

Além do modo qualitativo de análise, a problemática foi analisada quantitativamente através do cálculo da média e desvio padrão dos dados de medição de análise de casca no soprador e nos lotes. Os valores encontrados estão dispostos na Tabela 2 e é possível observar que tanto a média quanto o desvio padrão dos dados no ponto de análise dos lotes é maior, em comparação com o ponto de análise soprador. Este fato confirma o que foi visto visualmente pelo gráfico de dispersão e *boxplot*, plotados na primeira etapa deste trabalho.

**Tabela 2 - Valores de média e desvio padrão dos dados de medição de casca no soprador e lotes, para o ano de 2022.**

	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>
<b>SOPRADOR</b>	0,076642336	0,63517328
<b>LOTES</b>	0,483553	1,1724365

Fonte: Autora, 2024.

### 5.3 Etapa de Análise

Após o levantamento das possíveis causas do problema (causas potenciais) com o Diagrama de Ishikawa na etapa anterior, um *brainstorming* também foi realizado na etapa de Análise para identificar se elas são causas reais para o problema.

#### 5.3.1 Mão de obra

- **Descumprimento da Instrução de Trabalho (operadores que não seguem o procedimento de análise de casca):** foi observado após entrevista com os operadores que realizam a análise de casca em campo, das amostras da descarga do soprador, que estes não seguiam o procedimento previsto em Instrução de Trabalho (IT) referente àquela análise. Foram feitas vistorias com cada um dos operadores que realizam a análise e constatado que, no momento da medição, alguns pontos da IT estavam sendo descumpridos, a citar:

- Foi observado que seis dos dez operadores que realizam a análise de casca não pesavam o resíduo de casca encontrado após peneiramento da amostra e, conseqüentemente, não realizam o cálculo conforme Equação (1), descrita no item 3.2 deste trabalho;
- Foi observado que um operador coletou o resíduo de casca encontrado após peneiramento da amostra com o auxílio de um saco plástico, método que não está previsto em IT. A IT determina que o resíduo de casca seja coletado da peneira com o auxílio de um pincel específico para análise de casca e seja depositado em recipiente específico;
- Foi observado que quatro operadores não realizam corretamente o cálculo para encontrar o teor de casca corretamente, conforme Equação (1);
- Foi observado que três operadores reportavam o resultado do teor de casca baseado na observação visual dos pontos de resíduo encontrados após peneiramento e não conforme Equação (1).

#### 5.3.2 Medida

- **Diferença na precisão das balanças analíticas de pesagem de casca:** foi constatado que as balanças analíticas utilizadas para pesagem do resíduo de casca eram diferentes, em relação a sua precisão. A balança analítica que o Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ), responsável pela análise do teor de casca em lotes utilizava possuía uma precisão de quatro casas decimais, enquanto, a balança que os operadores utilizavam para pesar a casca na análise

do soprador possuía três casas decimais. Essa diferença de precisão faz com que os resultados de teor de casca, calculados conforme Equação (1), encontrados sejam distintos. Em uma balança analítica que possua uma precisão de três casas decimais, como encontrada em campo, o valor mínimo que se pode encontrar após pesagem dos resíduos de casca é 0,001 g, resultado no valor final, após aplicação da Equação (1), de 0,5 ppm de casca, já que é utilizada uma amostra padrão de 2kg de PVC proveniente da descarga do soprador. Em contrapartida, em uma balança analítica que possua uma precisão de quatro casas decimais, como encontrada em laboratório, o valor mínimo que se pode encontrar após pesagem dos resíduos de casca é 0,0001 g, resultado no valor final, após aplicação da Equação (1), de 0,1 ppm de casca, já que é utilizada uma amostra padrão de 1kg de PVC proveniente da válvula dosadora instalada no topo dos silos, representativa de um lote. Portanto, os analistas do LCQ conseguem encontrar valores de medição de casca de 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 ppm, sendo impossível os operadores de campo encontrarem valores tão baixos.

### 5.3.3 Máquina

- **Ausência de uma balança analítica para pesagem da casca no soprador:** foi constatado que, no período de janeiro à abril de 2022, a balança analítica utilizada pelos operadores da área para pesagem dos resíduos de casca estava inoperante. Durante este período, os operadores precisavam coletar a amostra utilizada para análise na descarga do soprador e levá-la até a outra planta de PVC existente na indústria Poliquímica, para assim realizar a análise. Porém, a distância entre as unidades de PVC é longínqua, cenário que poderia ter favorecido para não identificação dessas partículas na maioria das análises feitas no soprador.

### 5.3.4 Material

- **Ausência de materiais adequados para análise de casca no soprador:** foi observado, após averiguação dos materiais necessários para análise de casca previsto em IT, que os operadores do campo não possuíam todos os materiais previsto na instrução, a citar: pincel adequado para análise, já que se faz necessário a retirada dos resíduos que eventualmente ficarem presos na peneira com o auxílio deste; pinça para coleta das cascas; papel vegetal para pesagem dos resíduos, já que a pesagem da casca é realizada com o auxílio de um papel vegetal, previamente tarado na balança e; recipiente para coleta das cascas.

### 5.3.5 Método

- **Diferença nas Instruções de Trabalho de análise de casca no soprador e nos lotes:** foi verificado que existiam duas instruções de trabalho para análise de casca, uma referente a medição realizada no soprador, para ser seguida pelos operadores da planta e outra referente a medição de casca dos lotes, para ser utilizada pelos analistas do Laboratório de Controle de Qualidade e essas instruções eram diferentes. Porém, a análise realizada é a mesma para os dois pontos de controle da planta e as instruções a serem seguidas deveriam ser iguais.
- **Ausência de uma rotina de inspeção da malha da peneira de análise de casca do soprador:** foi verificado que não existia uma rotina de inspeção para malha da peneira utilizada na análise de casca do soprador. Essa rotina é importante de ser feita com frequência, pois avalia se a malha está com alguma avaria e se a peneira ainda está apta para uso. A peneira utilizada para análise de casca do LCQ possui uma rotina de inspeção.

Com a análise das causas levantadas no diagrama de Ishikawa, a matriz Causa e Efeito pôde ser construída. A partir dessa análise, foi possível definir notas para cada uma delas, ou seja, o seu grau de importância em relação ao problema a ser resolvido (Y do processo). Então, a classificação do impacto foi definida (alta ou baixa) como também o esforço para eliminar/tratar a causa em questão (X do processo). A Figura 16 ilustra a Matriz de Causa e Efeito construída.

Figura 16 - Matriz de Causa e Efeito.

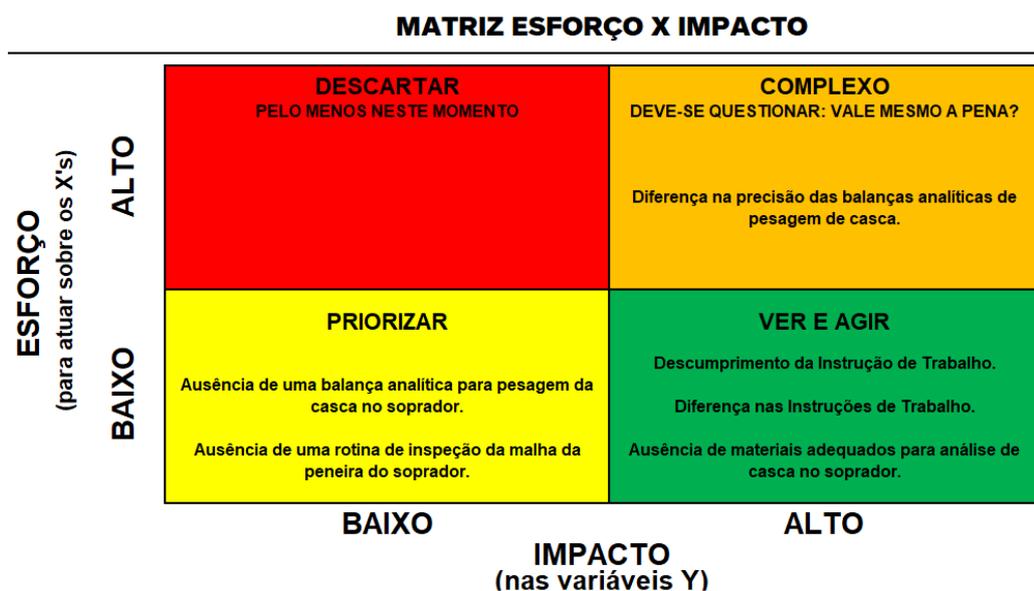
MATRIZ CAUSA E EFEITO					
Índice de Importância		10	Índice de Impacto de X em Ys	Classificação do impacto	Esforço para eliminar/tratar o X do processo (alto ou baixo)
Y's do processo (efeitos) →		Diferença na medição do teor de casca no soprador e em lotes de PVC			
X's do processo (causas) ↓					
X1	Descumprimento da Instrução de Trabalho (operadores que não seguem o procedimento de análise de casca).	10	100	ALTO	BAIXO
X2	Diferença na precisão das balanças analíticas de pesagem de casca.	9	90	ALTO	ALTO
X3	Diferença nas Instruções de Trabalho de análise de casca no soprador e nos lotes.	8	80	ALTO	BAIXO
X4	Ausência de materiais adequados para análise de casca no soprador.	8	80	ALTO	BAIXO
X5	Ausência de uma balança analítica para pesagem da casca no soprador.	2	20	BAIXO	BAIXO
X6	Ausência de uma rotina de inspeção da malha da peneira de análise de casca do soprador.	5	50	BAIXO	BAIXO

Fonte: Autora, 2024.

Após a elaboração da Matriz de Causa e Efeito, também foi possível desenvolver a matriz de Esforço e Impacto e encontrar quais as causas que deveriam ser descartadas, que são aquelas que possuem um alto esforço de eliminação e um baixo impacto no processo; as causas que são consideradas complexas, que são aquelas que possuem um alto esforço e um alto impacto; as causas a serem priorizadas (baixo esforço e baixo impacto) e; as causas que deve-

se “ver e agir”, que são as que oferecem um alto impacto e um baixo esforço. A Figura 17 ilustra a Matriz Esforço e Impacto do trabalho e as suas respectivas causas divididas em seus quadrantes.

Figura 17 - Matriz de Esforço e Impacto.



Fonte: Autora, 2024.

### 5.3.6 Etapa de melhoria

Após a análise e priorização das causas do problema em questão tratados na etapa de Análise, um plano de ação pôde ser traçado agora na etapa de Melhoria, com o auxílio da metodologia “5W2H”, que é uma planilha de atividades, prazos e responsabilidades. A Figura 18 ilustra a planilha “5W2H” construída para este trabalho.

Figura 18 - Planilha "5W2H".

CAUSA (X's vitais)	O QUE FAZER (ação ou contramedida)	QUEM (responsável)	QUANDO (prazo/conclusão)	PORQUE (Justificativa da ação)	COMO (Detalhamento da ação)	ONDE (local)	QUANTO (Custo da ação)
Ausência de materiais adequados para análise (x04)	Fazer um levantamento de quais materiais são necessários para análise (verificando quais materiais são utilizados pelos analistas do LCQ)	ANANDA (autora deste trabalho)	01/12/2023	Para se adequar aos materiais que são utilizados pelos analistas do LCQ; para que os operadores possuam os materiais corretos para análise, para terem melhores resultados	Fazer um detalhamento (lista) dos materiais que estão faltando para compra	Microsoft WORD	R\$ -
Ausência de materiais adequados para análise (x04)	Adquirir os materiais adequados para análise de acordo com levantamento	ANANDA (autora deste trabalho)	11/12/2023	Para se adequar aos materiais que são utilizados pelos analistas do LCQ; para que os operadores possuam os materiais corretos para análise, para terem melhores resultados	Compra dos materiais necessários para análise, de acordo com o levantamento feito	Loja de ferramentas industriais	R\$ 50,00
Diferença nas Instruções de Trabalho soprador x lotes (x03)	Padronização e unificação das Instruções de Trabalho para análise de casca	ANANDA (autora deste trabalho)	11/12/2023	Pois se trata da mesma análise, que é feita em dois pontos de controle distintos	Redigir uma IT unificada com base nas já existentes	Microsoft WORD	R\$ -
Diferença nas Instruções de Trabalho soprador x lotes (x03)	Inserção no sistema BDO (Biblioteca de Documentação Orientadora)	OPERADOR X	29/12/2023	Pois se trata da mesma análise, que é feita em dois pontos de controle distintos	Inserir a IT unificada no sistema BDO	BDO	R\$ -
Ausência de uma rotina de inspeção da malha da peneira de análise de casca do soprador (x06)	Elaborar plano de inspeção periódico na peneira de análise de casca do soprador	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA PVC	29/12/2023	Para identificar possíveis avarias na malha da peneira e verificar se ela está apta para uso	Contratar uma empresa responsável por inspeção	Área industrial	R\$ 1.200,00
Descumprimento da Instrução de Trabalho (operadores que não seguem o procedimento) (x01)	Treinamento de reciclagem com os operadores na IT unificada	ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO DA PVC	19/01/2024	Para reduzir erros referentes a análise de casca; reciclagem de aprendizagem dos operadores da planta	Explicação e treinamento dos operadores com base na IT unificada	Área industrial	R\$ -
Ausência de uma balança analítica para pesagem da casca no soprador (x05)	Adquirir balança analítica para pesagem de casca no soprador, de preferência com precisão de 4 casas decimais)	TÉCNICO DE OPERAÇÃO DA PVC	01/12/2023	Para evitar com que os operadores se dirijam a outro ponto da planta para fazer a pesagem dos resíduos de casca	Compra de uma balança analítica para pesagem de casca no soprador	Loja de ferramentas industriais	R\$ 6.000,00

Fonte: Autora, 2024.

Na planilha foram definidas ações para cada causa priorizada na Matriz Esforço Impacto, os responsáveis pelas tratativas, o prazo para cumprimento dessas ações, a justificativa delas, o detalhamento da ação, o local onde serão realizadas e o seu respectivo custo. As ações propostas na planilha “5W2H” nesta etapa de melhoria do DMAIC foram implementadas com sucesso na indústria Poliquímica. Algumas das ações propostas não possuíam custo à empresa para serem implementadas, constatando a importância da implementação desse projeto.

#### *5.3.6.1 Ausência de materiais adequados para análise*

A ação proposta na planilha “5W2H” para essa causa foi dividida em duas etapas. Durante a etapa de Análise, foi constatado que os operadores da planta não dispunham de todos os equipamentos necessários para realização da medição de casca no soprador. Em contrapartida, os analistas do laboratório de controle de qualidade que realizavam essa mesma análise, só que para os lotes, dispunham de todos os materiais necessários. Então, como proposta de melhoria para esta causa, primeiramente foi realizado um levantamento dos materiais necessários para a análise, a fim de unificar os itens nos dois pontos de amostragem. Esse levantamento foi realizado no software Microsoft Word® e uma lista com os materiais a serem comprados foi levantada, na qual continha: pincel específico para que a malha da peneira não fosse avariada; uma pinça para coleta das cascas; papel vegetal para pesagem dos resíduos na balança e; um recipiente adequado para coleta dessas partículas. Estes são materiais fundamentais na análise de casca e os operadores da área não dispunham.

Após o levantamento dos materiais, uma compra dos itens da lista foi realizada em uma loja de ferramentas industriais e o custo dessa ação girou em torno de R\$ 50. Para uma grande indústria produtora de PVC, como a Poliquímica é consolidada, essa ação foi considerada de baixo custo à empresa.

#### *5.3.6.2 Diferença nas Instruções de Trabalho*

A ação proposta na planilha “5W2H” para essa causa, assim como a ação do item anterior, também foi dividida em duas etapas. A primeira se referiu a padronização e unificação das Instruções de Trabalho que se tinha disponível na planta para análise nos dois pontos de amostragem, soprador e lotes. Estas deveriam ser iguais, já que se trata da análise do mesmo parâmetro de qualidade. Com o auxílio dos engenheiros de produção e processo da planta, os pontos controversos e as diferenças das IT's foram sanados e uma única instrução foi criada no software Microsoft Word® e inserida no sistema da Poliquímica (sistema BDO – Biblioteca de

Documentação Orientadora). O responsável pela inserção da nova IT no sistema foi o operador responsável pela unidade industrial de PVC.

A unificação e padronização das Instruções de Trabalho referente a análise de casca permitiu uma melhora em sua análise, na qual foi possível perceber durante essa etapa de implementação das ações. Uma única instrução, mais clara e objetiva, contribuiu na redução da variabilidade dos resultados e operadores mais seguros em sua execução.

#### *5.3.6.3 Ausência de uma rotina de inspeção da malha da peneira*

A ação proposta pela etapa de melhoria do DMAIC para essa causa foi de extrema importância para que se conseguisse bons resultados na etapa de controle e reduzir a variabilidade. A malha da peneira utilizada na análise de casca possui especificação própria para identificação de uma resina de PVC maior que 500 micras (casca) e, se porventura, esta estiver avariada, a análise perde confiabilidade. Uma rotina de inspeção na malha da peneira de análise do soprador foi instituída pelo Técnico de Operação da planta, para identificação de aptidão desse instrumento de análise, a partir da contratação de uma empresa responsável por serviços de inspeção industrial. O custo dessa ação girou em torno de R\$ 1200 já que a Poliquímica possui convênio com empresas desse ramo. Contudo, essa ação também foi considerada de baixo custo.

A inserção de uma rotina de inspeção para a malha da peneira utilizada nas análises de casca do soprador foi de grande relevância à empresa, já que, a partir da implementação deste trabalho, foi a primeira vez que esse tipo de melhoria era implementado na área industrial. Isso fez com que a confiabilidade das análises aumentasse, garantindo um controle maior do processo.

#### *5.3.6.4 Descumprimento da Instrução de Trabalho*

Essa causa levantada nas etapas anteriores do DMAIC possuía bastante relação com o problema em que se queria tratar. O fato de alguns operadores na planta não seguirem a Instrução de Trabalho referente à análise de casca impactava a sua variabilidade, quando comparado às medições realizadas para os lotes. Logo, a ação proposta para esta causa foi treinamento de reciclagem com os operadores que realizam a análise no soprador, mediante à IT unificada. Foi importante a pessoa responsável por essa ação ser o engenheiro de produção da planta, já que este era a pessoa mais indicada para sanar todas as dúvidas por parte da

operação e ensinar a forma correta de realizar essa análise. Essa ação foi realizada diretamente na área industrial no local onde os operadores realizam a medição de casca.

#### 5.3.6.5 Ausência de uma balança analítica para pesagem de casca

A ação proposta para essa causa foi a aquisição de uma nova balança analítica para ser colocada no local onde os operadores realizam a medição de casca. Ela também foi bastante importante, pois o fato do trabalhador, que na maioria das vezes se encontra atarefado, precisar se deslocar para outro ponto da indústria somente para fazer a pesagem de resíduos de casca poderia ter contribuído significativamente na variabilidade dos resultados, que em sua maioria eram nulos no soprador, porque o operador descartava o resíduo encontrado, não reportando o valor correto do parâmetro casca. A Figura 19 ilustra a balança analítica fornecida para as análises de casca no soprador.

**Figura 19 - Nova balança analítica de pesagem de casca no soprador.**



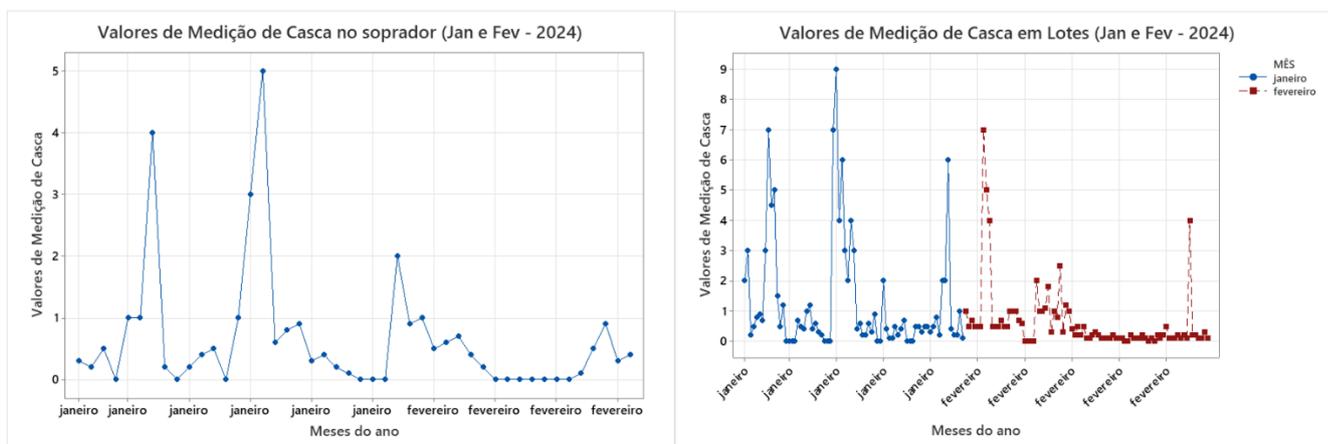
Fonte: Autora, 2024.

#### 5.3.7 Etapa de controle

A última etapa do ciclo DMAIC se trata do controle das ações propostas. Com as ações implementadas, a constatação da redução da variabilidade na medição das análises de casca

entre soprador e lotes de PVC foram controladas durante os meses de janeiro e fevereiro de 2024. A ferramenta gráfica utilizada nesta etapa se trata também de gráficos de dispersão, assim como os utilizados na etapa de definição do problema. Isso porque, desta forma, foi possível realizar uma comparação para avaliar se a aplicação do DMAIC no problema surtiu resultado. Os novos dados de medição das análises de casca também foram coletados pelo software Aspen Process Explorer® e a Figura 20 ilustra a nova dispersão dos dados após aplicação da metodologia, realizadas durante os meses de janeiro e fevereiro de 2024.

**Figura 20 - Comparativo de dados de medição de casca entre soprador e lotes, após aplicação do DMAIC.**



Fonte: Autora, 2024.

Com o controle das ações propostas no DMAIC, foi possível notar que houve uma melhora em relação a incidência de casca nas análises do soprador, pois anteriormente os valores eram nulos em praticamente todas as medições. Também foi possível notar que os valores de medição no soprador se equipararam aos valores de medição encontrados nos lotes, ou seja, houve uma melhora na variabilidade deles, na qual anteriormente era possível observar que as duas populações eram completamente diferentes.

Os valores de média e desvio padrão dos valores de medição de casca no soprador e nos lotes foram medidos novamente, e estes estão dispostos na Tabela 3.

**Tabela 3 - Comparativo entre média e desvio padrão das medições de casca entre soprador e lote, antes e após aplicação do DMAIC.**

	SOPRADOR		LOTES	
	Antes	Depois	Antes	Depois
<b>MÉDIA</b>	0,076642	0,632608	0,483553	0,951266
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,635173	1,011062	1,172436	1,585473

Fonte: Autora, 2024.

É possível notar que antes da aplicação do DMAIC, os valores da média das medições entre os pontos de análise de casca soprador e lotes possuíam uma diferença absoluta de 0,41, enquanto após a aplicação do projeto, essa diferença caiu para 0,31, em apenas dois meses de acompanhamento das ações implementadas. Estima-se que essa diferença da média dos valores

de medição entre os pontos de amostragem decaia ainda mais ao longo dos meses, já que a etapa de Controle do DMAIC deve ser mantida por, pelo menos, um ano de acompanhamento.

A implementação das ações corretivas e preventivas oriundas do projeto surtiu um efeito bastante positivo na empresa. Por este ter sido um trabalho considerado de baixo custo e esforço despendido para realização das ações, o impacto de seus resultados foi percebido na possibilidade de previsão da ocorrência das cascas ainda no processo e na tomada de decisão de forma mais rápida e assertiva pela equipe de engenharia, para evitar a formação de lotes fora de especificação por este parâmetro de qualidade e ainda contribuiu para melhorar a forma como essa análise era feita pelos operadores industriais, garantindo maior confiabilidade dos resultados.

## 6 CONCLUSÃO

A partir da aplicação da metodologia DMAIC, foi possível definir um problema que estava ocorrendo em uma indústria produtora de PVC, de nome fictício Poliquímica, medir os dados, analisar as informações e implementar ações de melhoria e controle de processos, se utilizando de ferramentas estatísticas diversas para alcançar os resultados almejados pela empresa. A aplicação dessa metodologia e de suas ferramentas de melhoria contínua se apresentou de forma bastante satisfatória à empresa, já que foi um trabalho considerado de baixo custo e com ações que não demandaram muito tempo e esforço para executá-las e garantir um resultado positivo.

Com este método, foi possível minimizar os resultados de variabilidade das análises do parâmetro de qualidade casca (granulometria maior que 500 micras) entre os dois principais pontos de amostragem da planta, soprador e lotes, para o *grade* SP 600RX, possibilitando à equipe de engenharia a tomada de ações mediante a ocorrência de casca com o PVC ainda no soprador, evitando que estas cheguem até o silo e, posteriormente, nos lotes, ou seja, no produto final, que possui valor de mercado. Além disso, foi possível implementar melhorias nesta análise, que se deu por meio da unificação da Instrução de Trabalho referente à análise de casca, da compra de materiais corretos e necessários para auxiliar na correta medição, na instituição de uma rotina de inspeção para avaliar a aptidão da malha da peneira utilizada na análise, na compra de uma nova balança analítica para pesagem das cascas e, por fim, em um amplo treinamento de reciclagem dos operadores, ministrado pelo engenheiro de produção responsável pela planta, para garantir ainda mais a confiabilidade dos resultados ao longo dos anos.

A constatação da redução da variabilidade dos dados de medição de casca entre os dois pontos de análise se deu de forma qualitativa, através de observação visual dos gráficos de dispersão de dados e de forma quantitativa, através da análise dos valores de média e desvio padrão das populações. É importante ressaltar que, por se tratar de um projeto de melhoria contínua implementado em uma indústria de polímeros, os resultados encontrados com a aplicação da metodologia DMAIC podem ser considerados um ponto de partida, na qual espera-se que os resultados sejam mantidos ao longo do tempo, preservando a tendência que fora evidenciada durante o período de dois meses (Janeiro e Fevereiro de 2024) de monitoramento e controle dos resultados deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

BALLESTERO, A; M, Esmeralda. **Gestão de qualidade, produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2010.

BARBOSA, K.; SILVA, J., **Análise Fluidodinâmica da Região de Gaseificação de um Gaseificador de Leite Fluidizado**. Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada, 2016.

BRANDING, S., **O QUE É PVC**. Instituto Brasileiro do PVC, 2015.

CAMPOS, V. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

DE PAULA, G. **O que é 5W2H: reduza incertezas, ganhe produtividade e aprenda como fazer um plano de ação**. Treasy, 2015.

LEÃO, T., **DMAIC: Significado, Exemplo e Como Funciona o Método**. Blog Industrial Nomus, 2022.

NUNES, L. R.; RODOLFO, A. Jr.; ORMANJI, W., **Tecnologia do PVC**. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2006.

PATEL, N. **Brainstorming: O Que É, Como Fazer (Passo a Passo)**. NP Digital, 2024.

RODOLFO, A; MEI, L. **Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, nº 3, p. 263-275, 2007.

WERKEMA,C. **Lean Seis Sigma. Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. Série Seis Sigma, Belo Horizonte, Werkema Editora, 2006.