

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA

**LARISSA BARREIRO BIRRO**

**OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE SUPRESSOR DE PÓ UTILIZADO COMO  
CONTROLE AMBIENTAL NO TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE  
PELOTAS QUEIMADAS EM UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO POR MEIO DO  
RELATÓRIO A3: UM ESTUDO DE CASO**

Vitória

2022

LARISSA BARREIRO BIRRO

**OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE SUPRESSOR DE PÓ UTILIZADO COMO  
CONTROLE AMBIENTAL NO TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE  
PELOTAS QUEIMADAS EM UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO POR MEIO DO  
RELATÓRIO A3: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria do Curso de Engenharia  
Metalúrgica do Instituto Federal do Espírito Santo,  
Campus Vitória, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Thalmó de Paiva Coelho  
Junior.

Vitória

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Nilo Peçanha do Instituto Federal do Espírito Santo)

B619o Birro, Larissa Barreiro.  
Otimização do consumo de supressor de pó utilizado como controle ambiental no transporte e armazenamento de pelotas queimadas em uma usina de pelletização por meio do relatório A3 : um estudo de caso / Larissa Barreiro Birro. – 2022.  
29 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Thalmó de Paiva Coelho Junior.

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria de Cursos Superiores em Metalurgia, Curso Superior de Engenharia Metalúrgica, Vitória, 2022.

1. Metalurgia. 2. Minério de ferro – Processamento. 3. Usinas siderúrgicas. 4. Avaliação de riscos ambientais. 5. Controle de processos. 6. Engenharia metalúrgica. I. Coelho Junior, Thalmó de Paiva. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 21 – 669

Elaborada por Marcileia Seibert de Barcellos – CRB-6/ES – 656



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
Autarquia criada pela Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008  
**CAMPUS VITÓRIA**  
Avenida Vitória, 1729 - Jucutuquara - 29040-780 - Vitória - Espírito Santo

**LARISSA BARREIRO BIRRO**

**OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE SUPRESSOR DE PÓ UTILIZADO COMO  
CONTROLE AMBIENTAL NO TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE  
PELOTAS QUEIMADAS EM UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO POR MEIO DO  
RELATÓRIO A3: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria do Curso de Engenharia  
Metalúrgica do Instituto Federal do Espírito Santo,  
Campus Vitória, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Metalúrgica.

Aprovado em 19 de dezembro de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Thalm de Paiva Coelho Junior**  
Instituto Federal do Espírito Santo  
(Orientador)

**Prof. M. Sc Guilherme Augusto de Moraes Pinto**  
Instituto Federal do Espírito Santo

**Eng. Dyrceu Moreira de Freitas**  
Vale S.A.

## RESUMO

O presente trabalho teve como foco um estudo de caso da aplicação da ferramenta de qualidade relatório A3 para Solução de Problemas como método para otimização do consumo de supressor de pó, utilizado como medida de controle ambiental no transporte e armazenamento de pelotas queimadas em uma usina de pelotização. Em seu desdobramento, foi utilizado o método dos cinco porquês como ferramenta de apoio para identificação das possíveis causas fundamentais do problema, possibilitando contramedidas como propostas de melhoria do processo. Adicionalmente, foi relatada a utilização de supressores de poeira no controle ambiental de uma usina de pelotização. Os resultados deste trabalho mostraram que com a utilização do relatório A3 para Solução de Problemas como ferramenta de controle de qualidade foi possível otimizar o consumo de supressor de pó no transporte e armazenamento de pelotas, atingindo a meta adotada no trabalho, melhorando o processo de dosagem e controle ambiental de forma eficiente. Além disso, o método mostrou eficiência na redução da variabilidade do processo, mantendo-o mais controlado e garantindo a qualidade do produto.

Palavras-chave: Relatório A3. Ferramenta de Qualidade. Pelotização. Controle Ambiental.

## **ABSTRACT**

The present work focused on a case study of the application of the quality tool: A3 Report for Problem Solving, as a method for optimizing dust suppressors consumption, used as an environmental control measure in the transport and storage of burned pellets in a pelletizing plant that will not be identified due to business confidentiality. In its unfolding, the “five whys” method was used as a support tool to identify the possible root causes of the problem, enabling countermeasures for process improvement proposals. Additionally, the use of dust suppressors in the environmental control of a pelletizing plant was reported. The results of this work showed that the use of the A3 report for Problem Solving as a quality control tool, allowed consumption optimization of the dust suppressor in the transport and storage of pellets, reaching the goal suggested in this article improving dosing process and environmental control in a efficient way. In addition, the method showed efficiency in reducing process variability, keeping it more controlled and ensuring quality.

Key-words: A3 report. Quality Tool. Pelletization. Environmental control.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>06</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>08</b>
2.1	O PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO E SEU CONTROLE AMBIENTAL	08
2.1.1	<b>Processamento térmico</b> .....	<b>09</b>
2.1.2	<b>Peneiramento e transporte de pelotas queimadas</b> .....	<b>10</b>
2.1.3	<b>Controle ambiental</b> .....	<b>11</b>
2.2	FERRAMENTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE .....	12
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA E LÓCUS DA PESQUISA</b> .....	<b>14</b>
3.1	LÓCUS DA PESQUISA.....	14
3.2	MATRIZ DE PESQUISA .....	14
3.3.	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	15
3.3.1	<b>Estudo de caso</b> .....	<b>15</b>
3.3.2	<b>Relatório A3</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>17</b>
4.1	A USINA PESQUISADA .....	17
4.2	PARÂMETRO DE CONTROLE AMBIENTAL .....	17
4.3	DOSAGEM DO SUPRESSOR DE PÓ E CUSTOS ENVOLVIDOS.....	17
4.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO RELATÓRIO A3 PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DO SUPRESSOR DE PÓ NAS PELOTAS QUEIMADAS.....	18
4.4.1	<b>Histórico</b> .....	<b>18</b>
4.4.2	<b>A condição atual e a declaração do problema</b> .....	<b>19</b>
4.4.3	<b>Declaração do objetivo</b> .....	<b>21</b>
4.4.4	<b>Análise da causa fundamental</b> .....	<b>22</b>
4.4.5	<b>Contramedidas</b> .....	<b>23</b>
4.4.6	<b>Confirmação de efeito</b> .....	<b>23</b>
4.4.7	<b>Ações de acompanhamento</b> .....	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de mineração é tido como uma das principais atividades econômicas do país, escolhida para dinamizar o crescimento nacional, envolvendo neste contexto as plantas de pelotização. A pelotização é um processo de aglomeração de finos de minérios, envolvendo tratamento térmico, cujo produto final são as pelotas queimadas, aglomerados de minério de ferro em forma de bolas de diâmetro com distribuição uniforme de tamanho entre 8 e 18 mm que possuem características físicas e mecânicas que possibilitam o transporte a longas distâncias, bem como características químicas e metalúrgicas ideais para o processo de produção do aço. Esta aglomeração torna possível a utilização dos finos de minérios em alto fornos e fornos de redução direta, que necessitam da permeação do ar através da carga para que ocorram as devidas transformações, melhorando a eficiência dos fornos. (Meyer, K.1980)

O processo de pelotização pode gerar partículas finas que ficam em suspensão na atmosfera e prejudicam a qualidade do ar com maior quantidade particulados em suspensão e depositados em zonas urbanas próximas a região onde são processadas as pelotas. Com base nos conceitos e diretrizes da sustentabilidade da ONU, é necessário um amplo trabalho para reconhecer e enfrentar as externalidades geradas por tal atividade, sendo uma das principais preocupações atuais das indústrias a eficiência de métodos para controle ambiental. Uma delas é a utilização de supressores de poeira, que tem como função, envolver as pelotas gerando a redução dos desprendimentos de material particulado, evitando emissões difusas na atmosfera. (LV,2019)

Apesar da importância do conhecimento e da tecnologia vista nos ambientes corporativos atualmente, ainda há como grande preocupação o controle de gastos no momento de produzir, demandando técnicas modernas e eficientes de gestão. A aplicação de ferramentas de gestão de qualidade se intensificou nos últimos anos, visto que a procura por qualidade se tornou um requisito básico em produtos e serviços, e não mais um diferencial, em um cenário onde a principal demanda é o foco no cliente. (OLIVEIRA et al., 2009)



Uma gestão de qualidade mais estável permite um maior controle dos processos, diminuindo a variabilidade do mesmo e eliminando possíveis causas do problema. Dessa forma, as ferramentas de gestão de qualidade se mostram efetivas em reduzir custos, pois processos não controlados ou mal geridos ocasionam despesas, presentes em toda organização, inseridos na categoria de custos encobertos, segundo Campos (1992).

Portanto, esta pesquisa procurou responder: Como otimizar o consumo de supressor de pó como controle ambiental no transporte de pelotas queimadas em uma usina de pelotização por meio do relatório A3?

Devido à elevação dos custos do supressor de pó utilizado na empresa pesquisada, o presente trabalho tem como objetivo geral: **otimizar o consumo de supressor de pó utilizado como controle ambiental no transporte e armazenamento de pelotas queimadas em uma usina de pelotização por meio da aplicação da ferramenta de qualidade relatório A3.**

Além do objetivo geral, outros objetivos específicos são apresentados:

- Definir o controle ambiental utilizado no transporte e armazenamento de pelotas queimadas de uma usina de pelotização;
- Descrever a utilização do relatório A3 para otimização do consumo de supressor de pó no transporte e armazenamento de pelotas queimadas em uma usina de pelotização.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. O PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO E SEU CONTROLE AMBIENTAL

O processo de mineração em geral, incluindo o do ferro, gera uma grande quantidade de partículas finas e ultrafinas de minério (ou simplesmente finos), cuja utilização se torna impraticável na siderurgia, pois tornaria esta carga ferrífera pouco permeável para a passagem dos gases redutores nos processos siderúrgicos. Assim, visando a utilização destes finos, com objetivo de aumentar o rendimento da lavra, preservando as reservas; diminuir os custos operacionais e evitar o efeito deletério que seu descarte causaria, foram criados os processos de aglomeração de finos de minérios, entre eles a briquetagem, a sinterização e a pelletização. (Manual de Operação da Usina Pesquisada)

Especificamente na pelletização, o objetivo, em geral, é aglomerar a parcela de ultrafinos, convertendo estes finos de minério em pelotas com características adequadas aos processos siderúrgicos, possibilitando ser transportadas em longas distâncias, sem sua degradação. A utilização de pelotas se dá, notadamente, em alto-fornos para produção de ferro gusa e em fornos de redução direta para produção de ferro esponja. (Meyer, K. 1980)

Fisicamente, pelotas são aglomerados de minério de ferro em forma de bolas de diâmetro com distribuição uniforme de tamanho entre 8 e 18 mm. Têm como características a porosidade entre 25 e 30%, teor de minério de ferro maior que 63%, praticamente sem perdas de ignição ou volatilidade, composição mineralógica uniforme na forma de hematita de fácil redução, alta resistência mecânica, baixa tendência à abrasão e boa resistência durante transporte, boa resistência mecânica em altas temperaturas sob atmosfera redutora. (Meyer, K. 1980)

O processo de produção de pelotas queimadas pode ser separado em três grandes etapas: preparação das matérias primas, formação de pelotas cruas e processamento térmico. A eficiência de cada uma das etapas bem como a integração delas é de suma importância para a qualidade final do produto, sendo cada uma delas influenciada pela etapa anterior, podendo tornar um erro cometido em uma delas irreparável nas

seguintes. Na preparação das matérias primas, é adicionado aglomerante, geralmente água, a principal matéria prima do processo, o minério de ferro, e aditivos com objetivo de adequar a composição química e propriedades metalúrgicas da pelota. Essa mistura passa por tambores ou discos de pelotamento, formando as chamadas pelotas cruas com resistência mecânica suficiente para suportar o transporte até o tratamento térmico. As pelotas passam pelo processo de secagem e endurecimento para adquirir uma alta resistência mecânica e características metalúrgicas apropriadas. Nesta fase é comumente feito um gradiente de temperatura, ou processamento térmico, em atmosfera oxidante abaixo do ponto de fusão do minério utilizado, sendo denominado de queima da pelota. (Meyer, K. 1980)

### **2.1.1. Processamento térmico**

O tratamento térmico das pelotas é a etapa que concretiza a qualidade final do produto. Após esta etapa, as características físicas, químicas e metalúrgicas das pelotas não podem ser alteradas. Em escala industrial, o processamento térmico pode ser feito através de três sistemas: forno de grelha móvel, forno rotativo ou forno de cuba, e é dividido em cinco etapas: secagem, pré-queima, queima, pós-queima e resfriamento.

A. Secagem: tem o objetivo de reduzir a umidade da pelota, através da passagem de gases quentes (320 a 400 °C), sem perder sua integridade física. A saída excessivamente rápida de água pode causar trincas e até rompimento das pelotas devido a tensões internas e às pressões dinâmica e estática dos gases quentes. A secagem se subdivide em ascendente, onde a camada de umidade se concentra na parte superior da camada de pelotas a fim de garantir que a taxa de transferência de calor seja suficientemente baixa; e descendente, onde a umidade é transferida da camada superior para as inferiores, dessa forma, evita a quebra de pelotas da camada superior com o aumento repentino de temperatura na zona de pré-queima, causada quando há excesso de umidade.

B. Pré-queima: esta etapa visa preparar as pelotas, melhorando a resistência ao choque térmico e garantindo o maior tempo de exposição das pelotas à temperatura de queima. Ocorre entre 600 e 1000 °C, podendo se diferenciar dependendo do tipo

do produto final e do minério utilizado na matriz (hematítico, limonítico ou magnetítico).

C. Queima: etapa onde é adquirida as propriedades químicas, físicas e metalúrgicas das pelotas. Ocorre no patamar de queima em máxima temperatura do ciclo térmico entre 1300 a 1350 °C. O tempo de permanência das pelotas nesta fase deve ser suficiente para queima completa de toda a camada de pelotas e pode diferir dependendo da composição do minério. Nesta fase ocorrem as ligações entre os grãos podendo ser influenciados pela temperatura, tempo de permanência e natureza da atmosfera do forno, dando origem às características finais da pelota. Assim, as pelotas adquirem resistência mecânica e propriedades ideais para utilização nos reatores metalúrgicos.

D. Pós-queima: etapa de curta duração, utilizada somente em fornos de sistema linear. O ar de resfriamento atravessa a camada de pelotas no sentido descendente, desta forma, o calor da camada superior é transferido para as camadas inferiores, completando a queima das pelotas das camadas inferiores.

E. Resfriamento: esta etapa é importante para o rendimento térmico do forno. Isto porque o ar de resfriamento, ao passar pelas pelotas, absorve o calor sendo pré-aquecido e é recuperado para as fases de secagem e de queima, nesta última passando pelos queimadores. (Manual de Operação da Usina Pesquisada)

### **2.1.2. Peneiramento e transporte de pelotas queimadas**

Após o resfriamento, as pelotas são levadas por correias transportadoras até a peneira vibratória, onde são utilizadas malhas de diferentes aberturas para classificar as pelotas e principalmente retirar a porcentagem de finos geradas no processo. A porcentagem de pelotas classificadas com granulometria ideal segue na correia transportadora e passa pelo processo de dosagem de água de refrigeração, para reduzir a temperatura das pelotas; posteriormente as pelotas passam pela dosagem de supressor de poeira. Assim, é possível que a mesma seja transportada para seu devido armazenamento. Essas pelotas geralmente são armazenadas em pátios. (Manual de Operação da Usina Pesquisada)

Devido a movimentação no transporte de pelotas e também ao armazenamento ao ar livre, os finos gerados no processo, por possuírem baixo valor de massa, são

arrastados pelo vento, gerando partículas em suspensão na atmosfera, o que torna o controle ambiental, neste processo de transporte, um procedimento importante, já que o acúmulo deste material em suspensão é prejudicial para saúde da população dos arredores e para o meio ambiente como um todo. (ECOSOFT, 2012)

### **2.1.3. Controle ambiental**

Segundo a resolução N°491 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, poluente atmosférico é qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade. A mesma, também define Partículas Totais em Suspensão (PTS) como partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros.

Uma das fontes de dispersão de materiais particulados são os finos de pelota queimada, formados ao final do processo de pelletização que, por ser um material leve, de baixa densidade, não tem peso suficiente para se manter em superfície. Com a movimentação das pelotas em transporte e a ação do vento, os particulados são desprendidos da superfície por arraste e ficam em suspensão na atmosfera facilmente. Para conter a quantidade de poluentes, emitidos por empresas, dentro das especificações, garantindo a qualidade do ar com ausência de nocividade, se fazem necessárias medidas de controle ambiental. (ECOSOFT, 2012)

A fim de dificultar o arraste dos particulados, é realizada a umidificação ou aglomeração das partículas. Estas, quando em contato com os chamados supressores de pó, tornam-se mais densas e capazes de formar uma película protetora. Os principais supressores de pó são a água, os sais higroscópicos, os produtos orgânicos derivados do petróleo, os produtos orgânicos não derivados do petróleo, as emulsões de polímeros sintéticos, os mulches de fibras de madeira ou de papel, os produtos eletroquímicos e as misturas que combinam componentes provenientes destas categorias (EPA, 2004).

Para isso, são utilizadas medidas de controle como umectação de vias e sistemas de aspersão, com ou sem a utilização de supressores químicos. Em alguns casos, os supressores químicos se fazem necessários devido ao alto fluxo de movimentação de carga ou permanência em zonas expostas à ação do vento em alta velocidade. (ECOSOFT, 2012)

## 2.2. FERRAMENTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE

A qualidade do produto ou serviço é um dos principais fatores para manter uma empresa no mercado competitivo. Cada produto possui elementos que, em conjunto, descrevem sua adequação ao uso. Esses elementos são comumente chamados de características da qualidade ou indicadores de desempenho e, segundo Montgomery (1985), podem ser de diversos tipos: físicas, tais como comprimento, peso, voltagem e viscosidade; sensoriais, como gosto, aparência e cor; ou de orientação temporal, como confiabilidade, manutenção, utilidade e durabilidade.

O controle estatístico de processo, como item integrante do controle de qualidade do processo, permite a identificação da variabilidade ao longo do tempo, possibilitando a análise e bloqueio de possíveis causas que estejam tornando o sistema instável, contribuindo para melhoria contínua da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido. (RIBEIRO e TEN CATEN, 2012)

Sendo assim, existem ferramentas e metodologias que auxiliam no controle do processo e na melhoria contínua da qualidade. Uma dessas metodologias é o ciclo PDCA que consiste em um método de resolução de problemas onde as soluções são encontradas através de um processo estruturado e ordenado, em que cada passo depende da execução do anterior. (FAESARELLA, 2006)

O PDCA é uma metodologia de alto nível para elevar a consciência individual e organizacional sobre o que é conhecido e o que não é conhecido a fim de resolver os problemas enfrentados no presente e prevenir sua recorrência no futuro. Ao mesmo tempo, o PDCA pretende melhorar o desempenho do sistema no longo prazo, não

apenas cuidar de um problema isolado. Com isso, o sucesso do uso do ciclo exige certo nível de disciplina. (SOBEK II, D.K. e SMALLEY, A, 2010)

As 4 fases do PDCA são:

(P) Planejamento - Consiste em estabelecer metas sobre os itens de controle (resultados dos processos), as maneiras e os métodos para atingi-las;

(D) Execução - Execução das tarefas de acordo com o plano e coleta de dados para verificação do processo;

(C) Verificação - Comparação do resultado alcançado com a meta planejada, utilizando os dados coletados;

(A) Ação Corretiva - Atuação do usuário sobre os desvios observados para corrigi-los e prevenir futuras ocorrências.

(FAESARELLA, 2006)

Um dos modos de se relatar o ciclo PDCA é com o uso do relatório A3, que, com base no modelo Toyota de produção, surgiu com a ideia de simplificação, colocando todo o relatório em um lado da folha de papel A3 (42 x 29,7 cm). O relatório A3 é uma ferramenta que estabelece uma estrutura para implementar a gestão PDCA e ajuda a levar os autores dos relatórios a uma compreensão mais profunda do problema ou da oportunidade. O relatório facilita a coesão e o alinhamento interno da organização em relação ao melhor curso de ação. (SOBEK II, D.K. e SMALLEY, A., 2010)

### 3 METODOLOGIA E LÓCUS DA PESQUISA

#### 3.1. LÓCUS DA PESQUISA

A empresa pesquisada pertence ao ramo da mineração, onde beneficia minério de ferro, produzindo pelotas para siderúrgicas. A planta industrial onde se localiza a usina pesquisada possui 14 mil km<sup>2</sup> e tem capacidade de produção instalada de 36,2 milhões de toneladas de pelotas por ano. O lócus da pesquisa foi uma de suas usinas.

#### 3.2. MATRIZ DE PESQUISA

Elaboramos uma matriz de pesquisa, conforme a tabela 1, onde reunimos o objetivo geral, os objetivos específicos, suas correspondentes descrições, métodos/técnicas de análise e os respectivos resultados esperados.

Tabela 1 – Matriz de pesquisa.

	<b>Objetivo Geral</b>			
	Otimizar o consumo de supressor de pó como controle ambiental no transporte e armazenamento de pelotas queimadas em uma usina de pelotização por meio da aplicação da ferramenta de qualidade relatório A3.			
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Métodos / Técnicas de Análise</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Definir o controle ambiental utilizado no transporte de pelotas queimadas de uma usina de pelotização	Pontuar quais são os controles ambientais utilizados no transporte de pelotas queimadas e como funcionam.	Órgão ambiental.	Estudo de caso.  Pesquisa documental utilizando documentos da empresa.	Conhecer o processo de controle ambiental utilizado no transporte de pelotas.
Descrever a utilização do relatório A3 para melhoria do uso de supressor de pó no transporte de pelotas queimadas.	Pontuar como foi realizada a utilização do relatório A3 para que a melhoria fosse feita.		Estudo de caso.  A3 Solução de Problemas	Otimizar o uso do supressor de pó através do PDCA.

Fonte: Adaptado de Choguill, 2005



### 3.3. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS NA PESQUISA

#### 3.3.1. Estudo de caso

Para relatarmos o caso e suas etapas envolvidas na presente pesquisa, utilizamos o método do estudo de caso. Este método, segundo Gil (1999), consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita o amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante a outros delineamentos já considerados. Robert K. Yin (2001) relata o conjunto de etapas que pode ser seguida pelo método do estudo de caso e nos orientou a realizar esta pesquisa percorrendo o seguinte percurso:

- Coleta de evidências: para obtermos os dados relativos ao controle ambiental utilizado no transporte de pelotas queimadas, bem como a composição, consumo e custo do supressor de pó utilizado no controle ambiental da usina de pelletização, conforme a tabela 1, optamos pela pesquisa documental e registros em arquivos;
- Análise das evidências: para analisar as evidências obtidas na coleta, foi utilizada a estratégia do modelo lógico de programa, que une as técnicas de adequação ao padrão e de análise de séries temporais, sendo possível determinar se a adequação ao padrão foi realizada a partir dos eventos ocorridos ao longo do tempo;
- Composição do relatório: o relatório foi escrito ao longo do texto, mostrando todo o contexto do trabalho, assim como a aplicação dos métodos.

#### 3.3.2. Relatório A3

Ainda na tabela 1, mencionamos o uso da metodologia relatório A3 Solução de Problemas como técnica de intervenção no processo para otimização dos parâmetros pesquisados. Esta técnica baseia-se em identificar problemas e sua causa raiz, propor possíveis soluções, documentando seu andamento através de relatórios, de acordo com o ciclo PDCA (Planejar, executar, verificar e agir).

Para isso, baseado em Sobek II e Smalley (2010), foram realizados os seguintes passos:

- Histórico: documentação de toda informação histórica pertinente que for essencial para entender a extensão e a importância do problema;
- A condição atual e a declaração do problema: mostrar uma visão geral simples do processo atual e demonstrar um entendimento do problema baseado em fatos. Para estes dois primeiros foi utilizada coleta de dados históricos da empresa pesquisada;
- Declaração do objetivo: determinar um padrão quantificável contra o qual comparar os resultados, deve ser estabelecido uma meta ou estado pretendido para a situação;
- Análise da causa fundamental: descobrir a causa fundamental dos sintomas do problema, neste contexto é bastante utilizado o método dos Cinco Porquês, escolhido também para este trabalho, que consiste em perguntar o "porquê" do problema por cinco vezes seguidas. Experiências mostram que parar no segundo ou terceiro porque significa que a investigação não foi a fundo o suficiente;
- Contramedidas: entendido o funcionamento dos sistemas e as causas fundamentais dos problemas, são criadas ações de contramedidas que irão solucionar o problema, até que uma contramedida melhor seja encontrada, deixando claro seus responsáveis e o prazo de realização;
- Confirmação de efeito: consiste na parte de verificação do PDCA. Após a implementação das ações são mostrados os resultados obtidos, comprovados pelos indicadores definidos no objetivo do trabalho;
- Ações de acompanhamento: esta etapa reflete o passo Agir do PDCA. Nele é necessário considerar de que outras maneiras o sistema pode ser mudado para sustentar a melhoria e o que ainda precisa ser feito.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. A USINA PESQUISADA**

A usina de pelletização pesquisada tem capacidade para produzir 7 milhões de toneladas de pelotas por ano. Esta usina utiliza, entre outros itens, para controle ambiental, um supressor de pó, não mencionado por questões de privacidade, aplicado sobre as pelotas queimadas.

### **4.2. PARÂMETRO DE CONTROLE AMBIENTAL**

O parâmetro de controle ambiental utilizado nesta planta consiste em uma Rede Automática de Monitoramento de Particulados (RAMP) que permite o monitoramento das emissões difusas de particulados em cada área operacional (setores). Os setores possuem torres de coleta e cada uma delas possui três pontos de coleta em diferentes alturas, que medem a concentração de partículas totais em suspensão (PTS) a cada 10 minutos, podendo ser verificada a concentração em cada uma delas de forma independente.

Os desvios são observados com o aumento da concentração de particulados em cada torre ou o aumento da taxa de emissão em cada setor. Os limites internos são estabelecidos com base no histórico de emissões e metas de redução estabelecidos anualmente. Na ocorrência de desvios, o Centro de Controle Ambiental inicia a comunicação com a área operacional para ajudar na identificação e mitigação dos desvios.

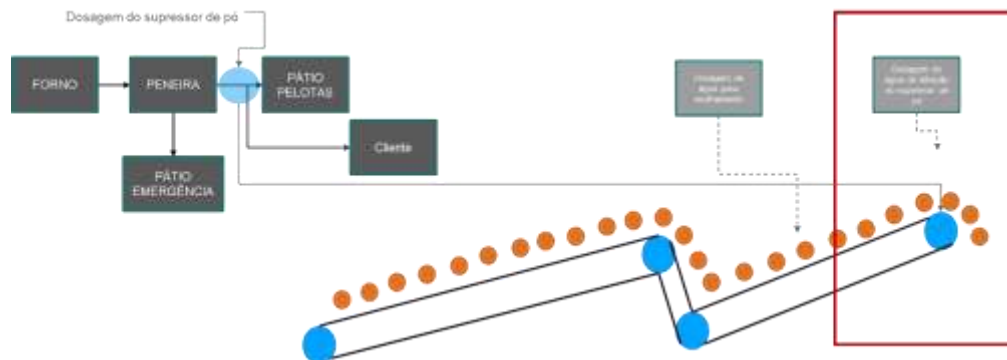
### **4.3. DOSAGEM DO SUPRESSOR DE PÓ E CUSTOS ENVOLVIDOS**

Para controle das emissões difusas de particulados, utiliza-se, nesta planta, como supressor de pó um insumo não identificado por questões de privacidade da empresa. O supressor de pó, diluído em água, é aplicado sobre as pelotas por meio de um percolador posicionado acima da correia transportadora, onde passam as pelotas. Existem valores de referência para dosagem de supressor, orçados pela empresa

considerando volumes de produção, variabilidade de indicadores de qualidade do produto e condições climáticas.

Na usina pesquisada, existem duas possíveis rotas para as pelotas queimadas. A primeira rota envia as pelotas para o pátio de armazenamento, enquanto a segunda rota envia as pelotas diretamente para o cliente, por meio das próprias correias transportadoras (Figura 1).

Figura 1 - Esquema do processo de dosagem do supressor de pó.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO RELATÓRIO A3 PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DO SUPRESSOR DE PÓ NAS DE PELOTAS QUEIMADAS

Como ferramenta de melhoria, foi aplicado o método do relatório A3 pelo engenheiro e técnicos responsáveis pela área. O indicador utilizado no método, para avaliação dos resultados, foi a dosagem específica do supressor de pó aplicada nas pelotas em Kg por toneladas, a fim de realizar otimização da dosagem de supressor, tendo como premissa garantir a manutenção do parâmetro de controle ambiental no processo de movimentação e empilhamento de pelotas queimadas.

##### 4.4.1. Histórico

Ao longo de 2021, devido ao cenário de retração das produções industriais no mercado e elevação do preço do dólar, houve uma elevação exponencial do preço do supressor de pó, como mostra a figura 2.

Figura 2 - Evolução do custo do supressor de pó em 2021.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O insumo que anteriormente tinha um custo relativamente baixo, teve um aumento de mais de 300% considerando a média anual entre 2020 e 2021, e este valor aumentou ainda mais no ano de 2022, cerca de 243% a mais que o ano anterior. A fim de clarificar e desdobrar o problema, foram levantados dados históricos dos últimos anos do custo do supressor de pó aplicado nas pelotas, ilustrados na figura 3.

Figura 3 - Histórico do custo médio do supressor de pó nos últimos anos.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.4.2. A condição atual e a declaração do problema

Analisando os valores de consumo do supressor de pó constatou-se que há uma alta variabilidade na dosagem do supressor, sempre atendendo aos limites mínimos definidos para controle ambiental. Essa variabilidade é causada pela elevação de dosagem em alguns pontos específicos, tendo como média valores próximos ao de orçamento, cerca de 11% abaixo, existindo a possibilidade de otimização dele. O

comportamento do consumo do supressor de pó ao longo do período considerado é apresentado no gráfico a seguir (Figura 4):

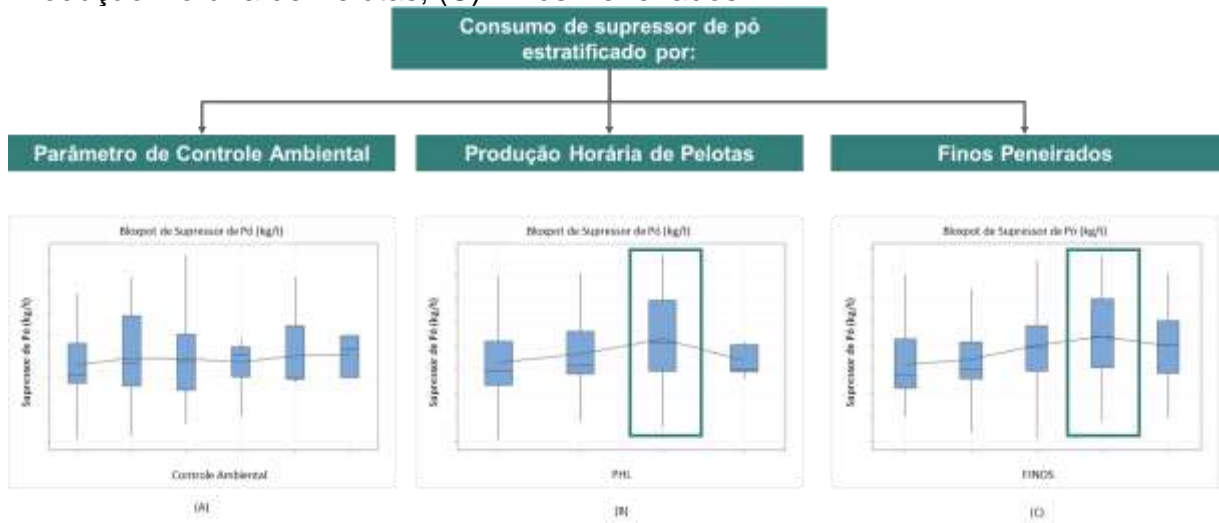
Figura 4 - Consumo específico do supressor de pó (Kg/t) mensal executado no primeiro semestre de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A variabilidade pode ser justificada a partir de correlações feitas com a faixa de produção da usina e com a quantidade de finos de pelotas queimadas gerados no processo, mostrada na figura 5, onde ocorre a elevação do consumo em determinada faixa. Já analisando a correlação com a taxa de emissão difusa, é possível verificar que as variáveis não possuem influência uma sobre a outra.

Figura 5 - Consumo do supressor de pó estratificado por (A) Taxa de RAMP; (B) Produção Horária de Pelotas; (C) Finos Peneirados.

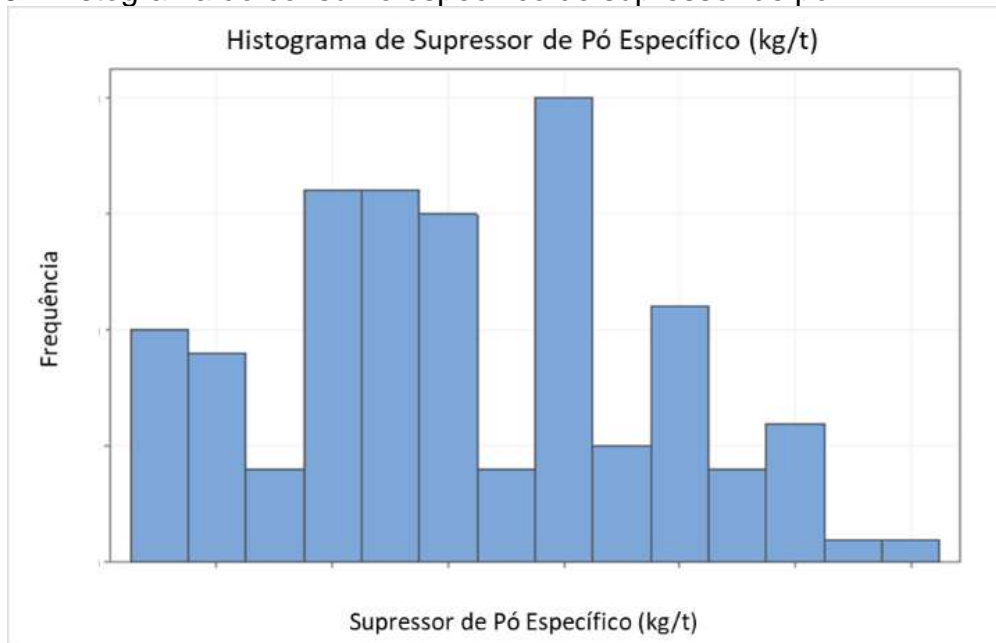


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.4.3. Declaração do objetivo

Considerando a média do custo no primeiro semestre de 2022, sendo a mais alta dos últimos anos e, verificando oportunidades de otimização no consumo do supressor de pó na movimentação de pelotas na usina, construiu-se o objetivo do projeto.

Figura 6 - Histograma do consumo específico de supressor de pó.



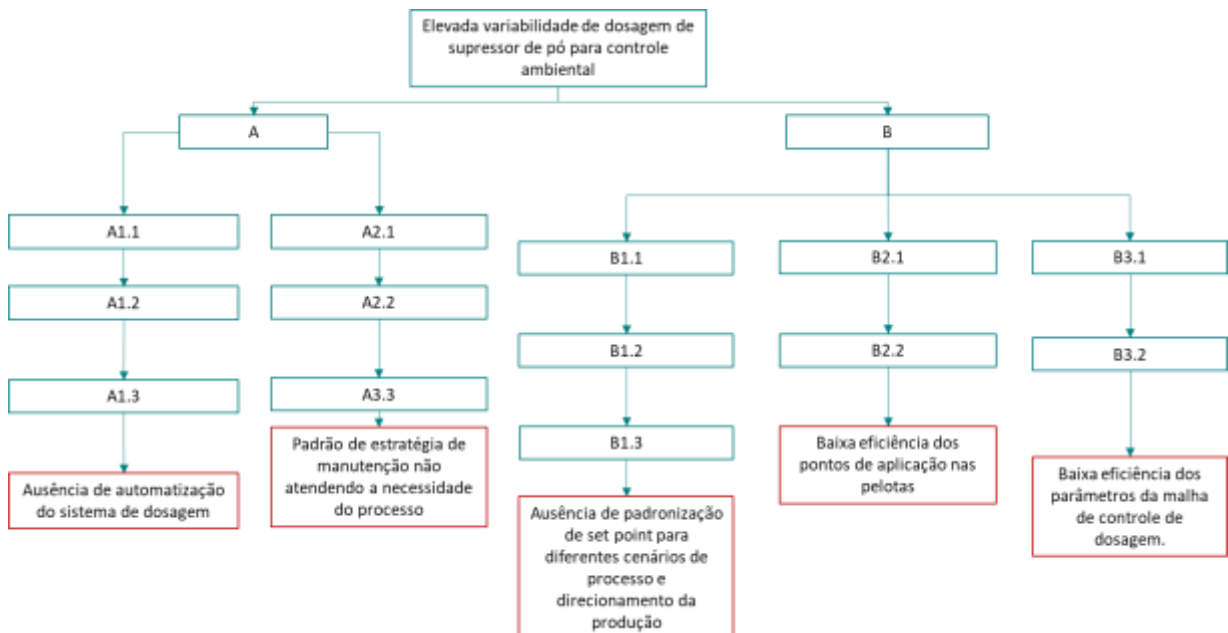
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O indicador utilizado para avaliação dos resultados foi o consumo médio do supressor de pó aplicado nas pelotas queimadas. A média executada no primeiro semestre de 2022 foi de 89% do valor de orçamento. A meta para o trabalho foi estabelecida utilizando a metade da lacuna entre o melhor resultado executado e o primeiro quartil no mesmo período, obtendo o valor de 68% do valor orçado. Portanto, o objetivo do projeto é reduzir o consumo específico médio do supressor de pó, passando de 89% para 68% do valor orçado até o final do ano estudado, assegurando os resultados de emissão difusa de particulados.

#### 4.1.4. Análise da causa fundamental

Para a etapa de análise de causa raiz, foi construído o diagrama utilizando o método dos Cinco Porquês, ilustrado na figura 7, indicando as possíveis causas do mantimento do consumo do supressor de pó acima do esperado.

Figura 7 - Diagrama do método dos Cinco Porquês.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com base no diagrama proposto na figura 4, foram extraídas as seguintes causas:

- Ausência de automatização do sistema de dosagem;
- Ausência de padronização de setpoint de supressor de pó para diferentes cenários do processo e direcionamento da produção;



- Baixa eficiência dos pontos de aplicação e dosagem necessitando de maior consumo de supressor de pó para atendimento da cobertura das pelotas;
- Padrão de estratégia de manutenção não atendendo a necessidade do processo;
- Baixa eficiência dos parâmetros da malha de controle de dosagem.

#### 4.1.5. Contramedidas

Identificadas as possíveis causas-raiz foram definidas ações de contramedidas para cada uma delas, de modo que sustente a alteração do indicador sem consequências deletérias, como indica a tabela 2.

Tabela 2 - Contramedidas adotadas a partir das causas-raiz.

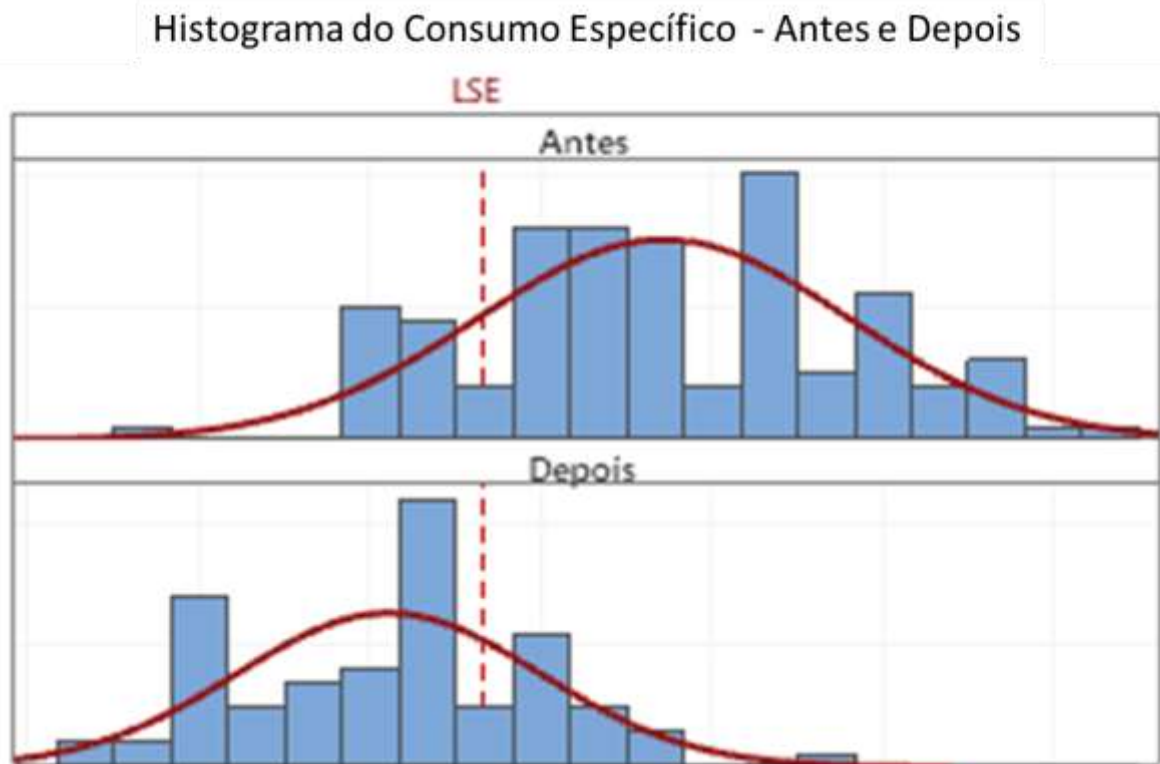
Causa Suspeita	Item de ação	Quando	Quem
Baixa eficiência dos pontos de aplicação e dosagem necessitando de maior consumo de supressor de pó para atendimento da cobertura das pelotas	Ação 01	30/04/22	Técnico de Manutenção
	Ação 02	30/07/22	Técnico de Manutenção
	Ação 03	30/04/22	Técnico de Manutenção
	Ação 04	30/04/22	Técnico de Manutenção
Ausência de padronização de setpoint de supressor de pó para diferentes cenários do processo e direcionamento da produção	Ação 05	15/07/22	Engenheiro de processo
	Ação 06	15/10/22	Engenheiro de processo
Ausência de automatização do sistema de dosagem	Ação 07	30/08/22	Técnico de Meio Ambiente
Padrão de estratégia de manutenção não atendendo a necessidade do processo			
Baixa eficiência dos parâmetros da malha de controle de dosagem	Ação 08	30/07/22	Engenheiro de processo

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

#### 4.1.6. Confirmação de efeito

Para analisar os resultados obtidos, foi utilizado o gráfico do tipo histograma (figura 8) que ilustra o comportamento do indicador utilizado antes e depois do início do projeto.

Figura 8 - Consumo específico médio do supressor de pó no ano de 2022 antes e depois do evento.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 3 - Dados estatísticos do consumo específico de supressor de pó antes e depois do evento.

Variável	Referência	Nº	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Consumo específico	Antes	6	89%	19%	61%	78%	88%	101%	119%
	Depois	4	62%	5%	59%	59%	59%	67%	69%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A figura 7 mostra que o efeito esperado foi confirmado, havendo a redução do consumo do supressor de pó com valor médio do período de verificação abaixo do valor da meta estabelecida. Além disso, ainda na figura 7, pode-se observar que houve, também, uma redução significativa da amplitude móvel, mostrando um maior controle sobre a variabilidade do indicador estudado após a realização das ações definidas no projeto. Esta redução é confirmada pelos valores de desvio padrão, média, máximo e mínimo mostrados na tabela 3.

Figura 9 - Média mensal da taxa de emissão de material particulado durante o período estudado.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observa-se ainda, a partir da figura 9, que os resultados dos valores médios de taxa de emissão de particulados, medidos pelo RAMP, não mostraram alteração no comportamento, se mantendo dentro do limite estabelecido e, portanto, cumpre a premissa adotada no projeto.

#### 4.1.7. Ações de acompanhamento

Como ação de acompanhamento, foram definidas ações que sustentam os resultados obtidos no projeto, como modificação do sistema de dosagem de supressor de pó por um modelo que apresenta maior eficiência na distribuição e cobertura das pelotas ao conseguir maior penetração no leito e distribuição em diferentes pontos do transportador. Foi ajustado também o ponto de aplicação do supressor de pó para um local de melhor aplicação. Foi realizada a melhoria das vedações dos pontos de aplicação para melhorar o controle da dispersão de materiais particulados.

Considerando os resultados obtidos, visando o ciclo PDCA, viu-se a oportunidade de otimização ainda maior do consumo do supressor de pó quando utilizada a rota direta para o cliente devido ao consumo direto e redução do transporte e movimentação de pelotas, mantendo a premissa de assegurar os resultados de emissão difusa de particulados. Dessa forma, foi criado modo de operação automatizado que consegue

utilizar diferentes padrões de dosagem de supressor avaliando diferentes destinos do produto e é possível também considerar diferentes condições de processo, possibilitando a redução de consumo do supressor quando ocorre o envio das pelotas diretamente para clientes próximos. O plano de ação é mostrado na tabela 4.

Tabela 4 - Ações de acompanhamento do ciclo PDCA.

Ação	Responsável	Prazo	Status
Ação 09	Engenheiro de processo	20/12/2022	Concluído
Ação 10	Engenheiro de processo	20/01/2022	Concluído
Ação 11	Engenheiro de processo	20/12/2022	Concluído
Ação 12	Técnico de Meio Ambiente	30/08/2022	Concluído
Ação 13	Engenheiro de processo	30/01/2022	Concluído

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Esta fase continua em andamento, com previsão de conclusão em datas posteriores à publicação deste trabalho.

## 4 CONCLUSÃO

A partir da pesquisa documental realizada na empresa onde aplicou-se o estudo de caso, foi pontuado o funcionamento do controle ambiental utilizado na planta, mostrando-se efetivo no monitoramento de emissões de particulados durante o processo de pelotização e da movimentação de pelotas. Partindo do mesmo, apresentou-se o insumo utilizado como supressor de pó na movimentação de pelotas queimadas, bem como suas características.

Com base nos dados apresentados, conclui-se que o método de relatório A3, construído a partir do PDCA, teve sucesso na otimização do consumo de supressor de pó. Seguindo o método, foi possível estabelecer uma meta real de consumo do supressor de pó, analisar as causas fundamentais do problema com a utilização do método dos Cinco Porquês, e tendo em vista as causas fundamentais, propor ações de contramedidas para melhoria do processo de adição de supressor de pó sobre as pelotas queimadas.

Com a implementação das ações exibidas neste trabalho e acompanhamento do ciclo, a meta do projeto foi atingida, passando o consumo do supressor de pó médio utilizado de 89% do valor de referência para 61%, sendo ainda menor que o valor da meta estabelecida, atendendo a premissa inicial de assegurar os valores do parâmetro de controle ambiental, RAMP, dentro dos limites estipulados. A redução do consumo do supressor de pó, traz, por consequência, redução do custo do insumo em valores significativos para empresa, baseando-se no alto valor de mercado mostrado no trabalho. Conclui-se ainda que, com a aplicação do método, além da redução do consumo do supressor de pó, como objetivo principal, a variabilidade do indicador foi reduzida, mostrando um ganho no controle do processo, um dos pontos importantes para o controle de qualidade.

Como o PDCA é um método cíclico, a aplicação do mesmo mostrou a possibilidade de uma melhoria ainda maior do processo em um novo ciclo, dando então, seguimento a este projeto, com objetivo de redução do indicador ainda mais significativa.

## REFERÊNCIAS

CAMPOS, Vicente F. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: QFCO, 1992.

CHOGUILL, C. L. The research design matrix: A tool for development planning research studies. **Habitat International**, local, v.29, n.4, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019739750500038X?via%3Dihub>. Acesso em: 11 dez. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, Nº 223, 21 nov. 2018.

ECOSOFT. **Projeto de rede otimizada de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia da região de Congonhas**. Congonhas, 2012. Estudo Técnico.

FAESARELLA, I.S.; SACOMANO, J.B.; CARPINETTI, L.C.R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Ferramentas**. São Carlos: USP. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Produção, 2006.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LV, W et al. **Consumo de energia do ciclo de vida e emissões de gases de efeito estufa do processo de pelotização de ferro na China, um estudo de caso**. 2019. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619321420?casa\\_token=VZP8OKxv-kUAAAAA:SxS-YSwKNscfzxdR8PWIE0s76Eir8\\_oB3YftqJ6rvERnGZ\\_tcoTEhVQfh0M9wmeHGaqymSMAaU](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619321420?casa_token=VZP8OKxv-kUAAAAA:SxS-YSwKNscfzxdR8PWIE0s76Eir8_oB3YftqJ6rvERnGZ_tcoTEhVQfh0M9wmeHGaqymSMAaU). Acesso em: 11 dez. 2022.

Manual de Operação da Usina Pesquisada. 2017.

MEYER, Kurt. **Pelletizing of Iron Ores**. Berlin: Springer Verlag, 1980.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to Statistical Quality Control**. Nova York: John Wiley and Sons, 1985.

Nações Unidas Brasil. Brasília, DF: **ONU**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/9>. Acesso em: 11 dez. 2022.

OLIVEIRA, Otávio J. et al. **Gestão da Qualidade: Tópicos Avançados**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

RIBEIRO, J. D., TEN CATEN, C. S. **Série monográfica qualidade: Controle estatístico do processo**. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012.

SOBEK II, D.K., SMALLEY, A. **Entendendo o pensamento A3**: um componente crítico do PDCA da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Potential Environmental Impacts of Dust Suppressants**: "Avoiding Another Times Beach". Las Vegas, 2004.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.