

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
Departamento de Engenharia Química

**G
E
Q**



**Trabalho de Conclusão de
Curso**

**REDUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM
TORRE DE SECAGEM ATRAVÉS DA METODOLOGIA
LEAN**

Milena Maria Rabêlo de Siqueira

Orientador(a): Antônio Carlos Duarte Coelho

MILENA MARIA RABÊLO DE SIQUEIRA

**REDUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM TORRE DE SECAGEM
ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do grau Bacharel em Engenharia
Química.

Orientador: Prof. Antônio Carlos Duarte
Coelho

Recife

2022

MILENA MARIA RABÊLO DE SIQUEIRA

**REDUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM TORRE DE
SECAGEM ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do grau Bacharel em Engenharia
Química.

Aprovado em: 27/10/2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS DUARTE COELHO (Orientador)
Departamento de Engenharia Química - UFPE

Prof. Dra. MARIA DE LOS ANGELES PEREZ FERNANDEZ PALHA (1º Titular)
Departamento de Engenharia Química - UFPE

Prof. Dr. CRESCÊNCIO ANDRADE SILVA FILHO (2º Titular)
Departamento de Engenharia Química - UFPE

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Siqueira, Milena Maria Rabêlo de.

REDUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM TORRE DE
SECAGEM ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN / Milena Maria Rabêlo
de Siqueira. - Recife, 2022.

55 : il., tab.

Orientador(a): Antônio Carlos Duarte Coelho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química -
Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Secagem. 2. Spray dryer. 3. Metodologia Lean. 4. Atomização. 5.
Detergente em pó. I. Coelho, Antônio Carlos Duarte. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

"A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem olhos abertos para o mistério passará pela vida sem nada ver".

(Albert Einstein)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha querida avó Maria do Carmo Rabêlo de Santana (*in memoriam*), minha Vovó Carminha, com todo meu amor e gratidão, que sempre se orgulhava em dizer que tinha uma neta que fazia Engenharia, e sonhava com o dia da minha formatura tanto quanto eu. Sei que onde quer que esteja, está comemorando essa vitória comigo. Exemplo de dignidade e força, sua lembrança sempre será uma inspiração de mulher para mim. Saudades eternas.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo Mendes e Dione Rabêlo, que me proporcionaram oportunidade de crescimento através do ensino e amparo, sempre me incentivando e mostrando que sou forte e capaz. Foi graças a eles que aprendi o que se deve fazer, qual caminho seguir, e a sempre perseverar nos estudos e crescimento profissional.

Às minhas irmãs, Rafaela Rabêlo e Manuela Rabêlo, pelos constantes incentivos e por acreditarem em mim nos momentos difíceis. Às minhas tias, e aos meus amigos mais íntimos, que sempre estiveram comigo dando forças e vibrando com cada conquista minha. Estar cercada de pessoas incríveis me tornou uma pessoa mais consciente e focada.

Ao ao meu gestor Admilson Santos, por todo apoio, orientação, ajuda e aprendizado profissional e pessoal, e aos colegas Elaine Santos, Carlos Vinicius, Erika Fouchard e Rafaela Mendes por tornar a caminhada mais leve.

Ao meu professor orientador, Antônio Carlos Duarte Coelho, pelas orientações e incentivos ao longo do desenvolvimento desse projeto.

À Universidade Federal de Pernambuco, por ter me capacitado para entrar no mercado de trabalho com conhecimento necessário à minha profissão.

Por fim, a todos que me acompanharam nesta trajetória, dando suporte e contribuindo para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

Devido a atual situação do mercado que está cada vez mais acirrado, torna-se um ciclo inevitável a otimização de processos como um todo, e a busca quase que incessante por melhores preços e condições de processamento que permitam diminuir gastos de formulação e energia inerentes à produção. Com melhoria de controle nos processos, as empresas são capazes de tomar decisões mais eficientes para que assim garantam a qualidade dos produtos, de aprimorar sua produtividade e de reduzir custos na cadeia de produção. Nesta ótica, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um projeto de melhoria voltado para indústria de detergente em pó, através da redução do consumo de gás natural na etapa de secagem por atomização (*spray dryer*) do processo. Foi realizado um estudo de caso, utilizando a metodologia LEAN para análise e solução de problemas. Depois de sua identificação e análise e, com auxílio das ferramentas da qualidade, foram levantadas as causas relacionadas ao problema e elaborado um plano de ação para mapear as atividades necessárias e atingir os objetivos estabelecidos. As ações executadas no plano de ação mostraram-se efetivas e o percentual de consumo de gás natural no processo foi reduzido. Por fim, foi realizada a padronização para evitar a recorrência do problema.

Palavras-chaves: Atomização. Detergente em pó. Metodologia Lean. Secagem. *Spray dryer*.

ABSTRACT

Due to the current market situation, which is increasingly fierce, it becomes an inevitable cycle to optimize processes as a whole, and the almost incessant search for better prices and processing conditions that allow reducing formulation and energy costs inherent to the production. With improved process control, companies are able to make more efficient decisions to ensure product quality, improve productivity and reduce costs in the production chain. In this perspective, the present work aims to present an improvement project aimed at the powder detergent industry, by reducing the consumption of natural gas in the *spray drying* stage of the process. A case study was carried out, using the LEAN methodology for analysis and problem solving. After its identification and analysis and, with the help of quality tools, the causes related to the problem were raised and an action plan was drawn up to map the necessary activities and achieve the established objectives. The actions carried out in the action plan proved to be effective and the percentage of natural gas consumption in the process was reduced. Finally, standardization was performed to avoid recurrence of the problem.

Keywords: Atomization. Powder detergent. Lean Methodology. Drying.

Spray dryer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de gás natural, em $\text{Nm}^3.\text{t}^{-1}$, no ano de 2021	13
Figura 2 - Macrofluxo da fábrica de detergente em pó.....	18
Figura 3 - Fluxograma de funcionamento de um spray dryer.	21
Figura 4 -Estrutura básica de um diagrama de causa e efeito	26
Figura 5 - Análise dos cinco porquês.....	27
Figura 6 - Plano de ação 5W1H.....	28
Figura 7 - Consumo de gás natural total na empresa, em Nm^3/t , no ano de 2021.....	30
Figura 8 - Comparativo do consumo de gás natural no ano de 2021 entre as plantas industriais (em azul, representando a planta do detergente em pó, e em laranja, a do sabão em barra).....	30
Figura 9 - Custo do consumo a mais de gás natural no ano de 2021.....	31
Figura 10 - Diagrama de Ishikawa para o problema do consumo elevado de gás natural.	33
Figura 11 - Umidade do pó base ao longo do ano de 2021.....	37
Figura 12 - Umidade do slurry ao longo do ano de 2021.....	38
Figura 13 - Abertura dos jatos de forma simétrica.	39
Figura 14 - Ângulo de atomização com bico antigo e novo.....	40
Figura 15 - Temperatura do slurry na entrada da torre ao longo do ano de 2021.	42
Figura 16 - Umidade do pó base ao longo do ano de 2022.....	43
Figura 17 - Umidade do slurry ao longo do ano de 2022.....	44
Figura 18 - Conjuntos bico-câmara nas dimensões antigas e novas, respectivamente.....	44
Figura 19 - Consumo de gás natural no ano de 2022 na planta do Detergente em Pó.	45
Figura 20 - Resultado comparativo entre os doze meses anteriores e à meta estabelecida. ...	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de priorização das causas do problema.	34
Tabela 2 - Planejamento do plano de ação para redução do consumo de gás natural no processo.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Organização do 5W1H para estruturação do problema do consumo de gás.	32
---	----

LISTA DE SIGLAS

5W1H	What (O quê), Why (Por que), Where (Onde), Who (Quem), When (Quando), How (Como).
ABIPILA	Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes de Uso Doméstico e de Uso Profissional
CMC	Carboximetilcelulose
DET	Detergente em Pó
LPP	Lição Ponto a Ponto
SEC	Secagem
TPS	Toyota Production System (Sistema Toyota de Produção)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	O DETERGENTE EM PÓ	15
2.2	PROCESSO PRODUTIVO DO DETERGENTE EM PÓ	17
2.3	SECAGEM	18
2.3.1	Secagem por atomização ou <i>Spray dryer</i>	19
2.4	O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	22
2.5	LEAN MANUFACTURING	23
2.6	TÉCNICAS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS	25
2.6.1	Diagrama de Pareto	25
2.6.2	Brainstorming	25
2.6.3	Diagrama de causa e efeito	26
2.6.4	Cinco porquês	26
2.6.5	5W1H	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	29
3.2	IDENTIFICAÇÃO E OBSERVAÇÃO DO PROBLEMA	29
3.3	ANÁLISE DO PROBLEMA	31
3.4	ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICES	51

1 INTRODUÇÃO

O detergente em pó está presente na vida de muitas famílias ao redor do mundo e é um produto indispensável para a higienização de roupas e tecidos. Tem forte presença nos lares brasileiros e seu crescimento acompanha o aumento da população e do seu poder aquisitivo. Em 2005, o consumo era de 3,5 kg por habitante/ano, chegando em 2018 a um consumo *per capita* de 4,8 kg por habitante/ano. Em toda, a América Latina, a média de consumo *per capita* de sabão em pó varia de 6 a 8 quilos *per capita* e a Europa chega a até 12 quilos por ano (ABRA IND, 2018).

A alta qualidade dos detergentes em pó aliada com o grande crescimento populacional e econômico colaboram com o aumento dos números relacionados ao consumo. O mercado global de detergentes lava-roupas movimentou em 2019 cerca de US\$ 64,9 bilhões, registrando queda de 0,7% em relação a 2014, quando as vendas superaram os US\$ 65 bilhões. A estimativa é que, em 2024, as vendas atinjam US\$ 74 bilhões, representando um crescimento de 15,1% no período e 2,9% ao ano até lá. A China lidera o *ranking* dos países em vendas da categoria, com quase US\$ 10 bilhões, seguida pelos Estados Unidos e Índia. O Brasil ocupa a quinta posição, com vendas que atingiram US\$ 2,6 bilhões (HOUSEHOLDINNOVATION, 2020).

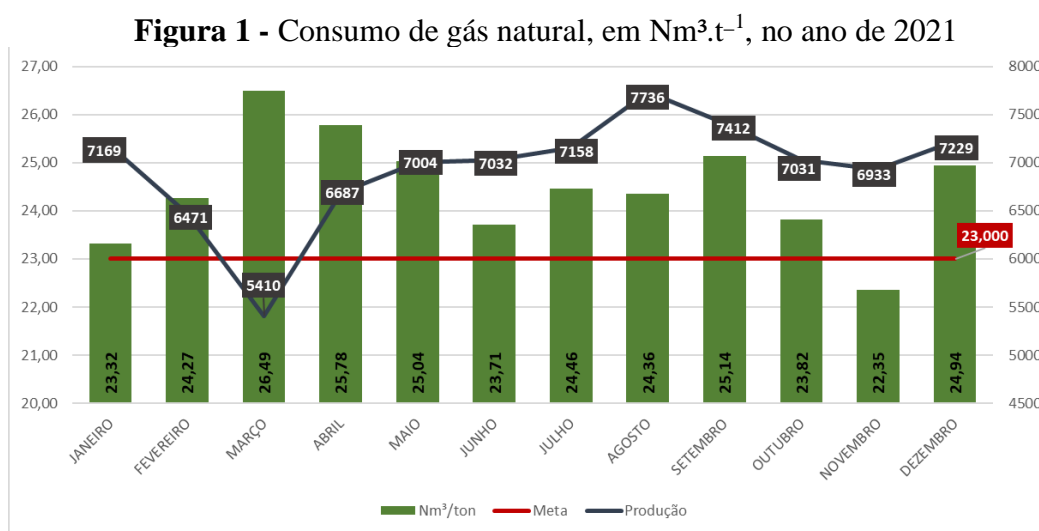
No Brasil, o mercado de detergentes lava-roupas alcançou a marca dos R\$ 10,8 bilhões em 2020, um crescimento de 9,3% comparando com o resultado de 2015, segundo a Euromonitor International. Para 2025, a consultoria estima que esse mercado possa faturar um pouco mais de R\$ 13 bilhões, o que representaria um incremento de 20,4% no período 2020/2025. Grande parte dessa visão positiva, apesar das adversidades econômicas enfrentadas atualmente, vem da necessidade de limpeza e higienização das roupas, como atitude aliada da saúde. Com a pandemia da Covid-19, o claim de desinfecção ganhou ainda mais força e protagonismo no setor, segundo a própria associação dos fabricantes de produtos, a Abipla (HOUSEHOLD&COSMÉTICOS, 2021).

O processo de fabricação de detergentes em pó tem a característica de ser verticalizado, devido à secagem utilizada no material, e pode ser dividido em duas fases: a úmida (tudo que ocorre antes da torre de secagem), e a seca (tudo que ocorre a partir da torre de secagem). Neste contexto, aplica-se a secagem por atomização, ou secagem por pulverização, denominada também como “*spray dryer*”, que consiste em dispersar o produto

a ser seco sobre forma de pequenas gotículas em uma corrente de ar quente de maneira a obter um pó (SHUCK, 2009).

As pequenas gotículas formadas e a grande área superficial das mesmas resultam em uma rápida evaporação da água a uma temperatura relativamente baixa, minimizando os danos térmicos ao produto (SHUCK, 2009). O ar úmido formado é retirado da câmara, bem como o produto seco é obtido com baixa umidade. Sua eficácia está baseada no princípio do aumento de área de contato entre o material a ser seco e o agente dessecante, ou seja, o ar quente (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2018).

A secagem por atomização possui como vantagem o controle da uniformidade das partículas, disponibilidade para alterar as condições de operação sem interromper o processo, custo relativamente baixo e baixo tempo de residência do produto, apresentando uma baixa agressividade aos produtos termossensíveis (SILVA, 2017). Para Brooker, Bakker-Arkema e Hall (1992) a secagem, quando comparada com as demais etapas de produção e comercialização, é a fase em que ocorre o maior consumo de energia, podendo chegar a 60% de toda a cadeia produtiva. Uma destas fontes de energia é o gás natural, que ao final da década passada provia cerca de 23% da energia consumida mundialmente (WANG; ECONOMIDES, 2009). Na Figura 1 abaixo, está representado o consumo de gás natural, em $\text{Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, no ano de 2021, na planta industrial do detergente em pó da empresa em estudo.



A partir da figura 1, pode-se perceber que todos os meses fecharam acima da meta máxima de consumo, que é de $23 \text{ Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, equivalendo a um custo adicional de R\$ 322.080 no ano.

Dessa forma, com volumes tão altos, torna-se um ciclo inevitável a otimização do processo como um todo, assim como a busca quase que incessante por melhores preços e condições de processamento que permitam diminuir gastos de fórmula e energia inerentes à produção. O *lean manufacturing*, traduzível como “produção enxuta”, é uma filosofia de gestão industrial baseada no Sistema Toyota de Produção (Toyota Production System – TPS), que utiliza diversas ferramentas objetivando a melhoria contínua, a maior capacidade produtiva, a agilidade de produção e a redução de custos minimizando ou eliminando os desperdícios.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo reduzir o consumo, em $\text{Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, de gás natural no processo de secagem do detergente em pó da empresa em estudo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analisar as possíveis causas do consumo excessivo do gás natural no processo de secagem;
- Fazer uso dos pilares e conceitos da metodologia Lean para redução esperada;
- Realizar a padronização dos parâmetros e ações através de documentos oficiais;
- Realizar treinamento a respeito das ações tomadas de melhoria para a operação;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será feita uma revisão da literatura a respeito de tópicos contendo importantes definições e teoria para a compreensão dos procedimentos e operações, modelos e metodologias empregadas neste trabalho. Será dada uma explanação sobre o processo produtivo do detergente em pó, com enfoque maior atribuído à operação de secagem por atomização, uma vez que ela é o ponto de partida para a obtenção dos pós no processo de secagem por “*spray*”. Além disso, serão apresentados conceitos a respeito da metodologia LEAN e sua origem, bem como de algumas ferramentas da qualidade que serão utilizadas no estudo.

2.1 O DETERGENTE EM PÓ

Os detergentes são substâncias inorgânicas ou orgânicas que apresentam a propriedade de reduzir a tensão superficial da água, favorecendo o seu espalhamento e emudecimento das superfícies, promovendo um contato mais íntimo entre a água e o objeto a ser limpo (CASTRO, 2009).

Os tensoativos que são os principais responsáveis por essa redução de tensão são compostos constituídos de uma longa cadeia carbônica, sensivelmente insolúvel em água (hidrofóbica), porém, solúvel em óleos e gorduras, acompanhadas de um maior ou menor grupo de átomos com poderosa atração pela água (CASTRO, 2009).

Nos últimos 30 anos, os detergentes domésticos, dos mais destacados países industriais, experimentaram um rápido desenvolvimento e mudaram de composição consideravelmente. Além dos tensoativos que desempenharam um grande papel neste desenvolvimento, a inclusão de diversos aditivos contribuiu para aumentar desempenho dos detergentes, inclusive de seu poder de branqueamento. Além dos tensoativos, os detergentes podem conter os seguintes aditivos (CASTRO, 2009):

- Agentes modificadores de espuma: Embora a espuma não seja indispensável para a comprovação da eficiência de um detergente, muitos produtos têm sua ação aumentada devido à espuma. Além disso, a presença de espuma é muitas vezes tomada como indicação da existência do detergente na água de lavagem. Por isso, um produto bem formulado deve ter uma espuma firme que desapareça juntamente com o detergente na lavagem. Outro ponto importante é relacionado com o uso do

detergente em máquinas de lavar: Produtos que formam grande quantidade de espuma podem causar transbordamento ou a necessidade de reduzir a carga, diminuindo a produtividade do equipamento. Neste caso, a formulação deve procurar reduzir a espuma sem afetar a detergência do produto (CASTRO, 2009).

- Agentes coadjuvantes: Os detergentes sintéticos puros não são eficientes para remover sujeira argilosa. Para corrigir este inconveniente, bem como fornecer um pH adequado da água e anular a presença de íons metálicos (cálcio, ferro, cobre, etc.), adiciona-se certos sais alcalinos como, por exemplo: tripolifosfato de sódio, fosfato trissódico, pirofosfato de sódio, carbonato de sódio. Deve ser considerado que existe uma tendência atual para formulações de detergentes contendo níveis mais baixos de fosfatos, em função dos efeitos adversos causados por esses compostos ao meio ambiente. A substituição completa dos fosfatos por outro componente ainda não foi viabilizada, pois os produtos alternativos testados apresentam custos mais elevados e menor eficiência. (CASTRO, 2009).
- Agentes removedores de manchas: Esse tipo de agente pode agir por oxidação, redução ou ação enzimática. Entre esses, o mais empregado em fórmulas específicas com ação alvejante é o percarbonato de sódio, que em solução aquosa se decompõe em peróxido de hidrogênio. Existe uma tendência da inclusão de diversos tipos de enzimas (proteases, lipases, amilases e celulasas) na formulação dos detergentes, para que esses sejam capazes de dissolver manchas mais específicas (CASTRO, 2009).
- Agentes de suspensão: São compostos que impedem a reposição da sujeira no tecido ou mesmo evitam que a sujeira removida de uma peça seja transferida para as demais. Isto pode ser alcançado através do uso de estabilizantes coloidais, como por exemplo, os derivados de celulose (sal sódico de carboxi-metil-celulose, hidroetilcelulose, metilcelulose). Em geral, a quantidade desses derivados de celulose na formulação de detergentes depende do grau de polimerização e do grau de substituição da molécula (CASTRO, 2009).
- Silicatos: Conferem aos detergentes melhores propriedades de armazenamento, combatem a corrosão nas máquinas de lavar e mantêm em suspensão as sujeiras de natureza argilosa. Podem ser empregados diversos tipos de silicatos de sódio, contendo diferentes massas de sílica (SiO_2) e óxido de sódio (Na_2O) (CASTRO, 2009).

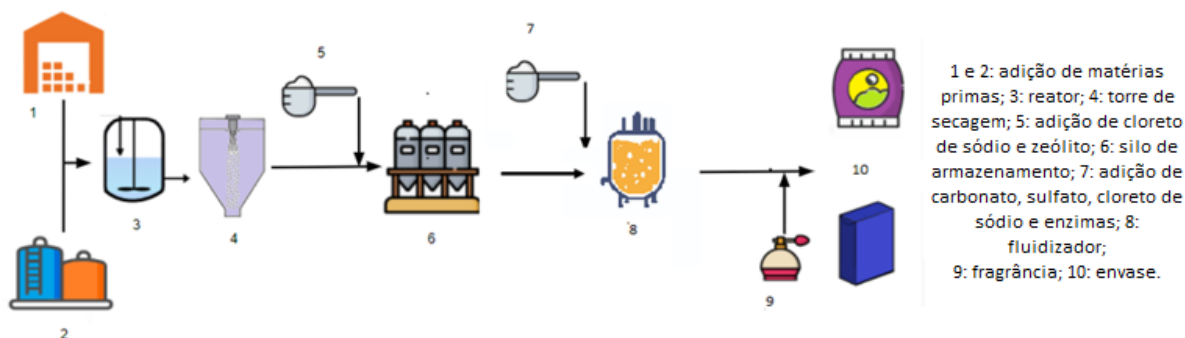
- Agentes modificadores do pó: Incluem-se uma série de agentes específicos que podem ser adicionados a uma formulação para conferir ou melhorar alguma propriedade, por exemplo, é muito comum o uso de corantes com a finalidade de melhorar o aspecto do pó (CASTRO, 2009).
- Branqueadores óticos: São substâncias que quando depositadas sobre os tecidos, recebendo radiação de luz ultravioleta (geralmente invisível), emitem luz visível na região azul-violeta. Isto mascara o amarelado dos tecidos, dando mais brilho, pois aumenta a quantidade de luz visível emitida. Os branqueadores óticos são, normalmente, adicionados em concentrações de 0,1 até 1,0% e o tipo de branqueador depende do tipo de fibra dos tecidos (CASTRO, 2009).

2.2 PROCESSO PRODUTIVO DO DETERGENTE EM PÓ

Todos os tipos e níveis de ingredientes usados na formulação de detergentes são escolhidos em função da disponibilidade de matérias-primas, custo, características físico-químicas, finalidade de uso, hábito do consumidor local, legislação e condições de processo. Fica claro então, que as fórmulas podem diferir de local para local, de país para país ou em função de suas aplicações e processamento. Em geral, o processo de fabricação dos detergentes consiste basicamente em duas etapas principais: manufatura do tensoativo seguida da preparação do detergente em pó em torre de secagem (CASTRO, 2009).

Para a preparação do detergente em pó as principais matérias-primas envolvidas são: ácido sulfônico, solução de soda cáustica, solução de tolueno sulfonato de sódio, solução de silicato de sódio, tripolifosfato de sódio, sulfato de sódio, carbonato de sódio, carboximetilcelulose (CMC), branqueador ótico, cloreto de sódio, perfumes e corantes. Entretanto, pode haver variações de acordo com as peculiaridades de cada produto (CASTRO, 2009). O processo a ser estudado trata-se de uma das principais e mais conhecidas formas de produção de detergente em pó, conhecido como *spray-dryer*. O fluxograma apresentado na Figura 2 descreve o processo de maneira resumida, onde: 1 e 2 representa a adição de matérias primas e insumos; 3 é o reator; 4 é a torre de secagem; 5 representa a adição de cloreto de sódio e zeólito; 6 é o silo de armazenamento; 7 representa a adição de carbonato, sulfato, cloreto de sódio e enzimas; 8 é o fluidizador; 9 é a adição de fragrância; e 10 é a etapa de envase.

Figura 2 - Macrofluxo da fábrica de detergente em pó.



Fonte: A Autora (2022).

Pode-se dividir o processo em duas fases: a úmida (tudo que ocorre antes da torre de secagem), e a seca (tudo que ocorre a partir da torre de secagem).

A primeira parte envolve a adição de insumos (1 e 2) no reator de mistura (3), onde acontecerá a adição programada dos reagentes na quantidade e no tempo determinado. É nesse reator onde ocorre a transformação das matérias-primas para formação do agente de limpeza presente no detergente em pó, havendo também o acréscimo de corantes e outras substâncias que melhoram o desempenho do produto final. Após a homogeneização, é formada uma pasta de detergente chamada de *slurry*, com cerca de 40% de umidade, apresentando consistência pastosa, que é posteriormente reservada em um tanque pulmão. O tanque pulmão é responsável por dosar essa pasta no fluxo da fábrica para que o processo seja contínuo. Então, ele é direcionado para a torre de secagem (4), onde terá sua água evaporada e umidade reduzida para 3,5%. Neste equipamento, a pasta tornar-se-á um pó chamado pó base. Este é armazenado em silo (6) e após adição de cloreto de sódio e zeólito (grupo de aluminosilicatos hidratados) (5), seguirá para adições de outros aditivos sólidos (7), como carbonato, sulfato e cloreto de sódio, além de enzimas. Após a homogeneização em um fluidizador (8), o detergente em pó é acrescido de fragrância (9) e por fim segue para o envase nas embalagens finais, sachês ou cartuchos (10).

2.3 SECAGEM

A secagem é uma operação unitária que promove a remoção da água do material através da evaporação. Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo); e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia. Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também deve haver

um absorvedor de umidade para remover o vapor de água, formado na superfície do material a ser seco (PARK; YADO; BROD, 2001).

Os fenômenos envolvidos no processo de secagem são complexos, pois envolvem, simultaneamente, a transferência de calor e de massa, podendo abranger ainda a transferência de quantidade de movimento (FERREIRA; PENA, 2010). Este processo pode envolver os três mecanismos de transferência de calor: convecção, condução e radiação. Os processos convectivos são os mais empregados na secagem comercial, no qual um fluxo de ar aquecido passa através de uma camada do produto (MUJUMDAR, 1995). Durante a secagem, a umidade migra do interior para a superfície do produto, de onde evapora para o ambiente. Isto ocorre devido à diferença de temperatura, que promove a transferência de calor do ambiente mais quente para o material úmido.

A retirada da umidade ocorre pela movimentação das moléculas de água, decorrente de uma diferença de pressão parcial de vapor d'água entre o ambiente (ar quente) e a superfície do produto, a qual promove a transferência de massa do produto para o ar (PARK; YADO; BROD, 2001).

2.3.1 Secagem por atomização ou *Spray dryer*

A secagem por atomização, nebulização ou *spray drying*, teve seus primeiros passos na metade do século XVIII, quando a primeira operação de secagem de ovos foi patenteada. Porém, o início de sua utilização em escala industrial data da década de 20. Os primeiros produtos de que se tem notícia como obtidos em larga escala por *spray drying* foram o leite e o sabão em pó. A partir de então, seu uso disseminou-se pela indústria de processos em geral, sendo hoje, especialmente aplicado para a secagem de produtos alimentícios e farmacêuticos (RÉ, 1998).

A secagem por atomização é um processo contínuo, onde um líquido ou pasta é transformado em um produto seco, na forma de pó, caracterizando-se por um tempo de secagem relativamente curto. O processo consiste basicamente na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente, de modo que a rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas. Desta forma, esta técnica permite a secagem de produtos sensíveis ao calor (alimentícios, biológicos e farmacêuticos), sem afetar demasiadamente sua qualidade (RÉ, 1998).

O princípio fundamental da atomização de um líquido consiste em aumentar a sua área superficial, através da aplicação de uma energia que age sobre o líquido, até que ele se torne instável e ocorra o seu rompimento e desintegração, criando um *spray* de gotículas. Esta nuvem ou *spray* entra em contato com o ar quente sob temperaturas elevadas e ocorre a secagem imediata, resultando na coleta do produto em pó. O termo atomização relacionado à secagem em *spray dryer* deve-se à divisão do líquido em milhões de partículas individuais, formando essa nuvem de gotículas. Segundo Masters (1985), a secagem de 1m^3 de líquido origina aproximadamente 2×10^{12} partículas uniformes de diâmetro $100\text{ }\mu\text{m}$, o que equivale a uma área superficial de 60.000 m^2 .

Após o produto estar seco, é feita a separação sólido-gás, etapa que representa entre 20 a 25% do custo total da planta de secagem. Usualmente, utiliza-se para esta separação, um ciclone, e em alguns casos, coloca-se um filtro de manga em série ao ciclone. Este filtro serve para aumentar a captação de pó, principalmente de partículas muito finas. Porém, ele eleva significativamente os custos do processo de secagem, além de ter operação trabalhosa (ESTEVES, 2006).

De acordo com Esteves (2006) e Ré (1998), o processo de secagem por atomização consiste em basicamente quatro etapas:

a) atomização, que consiste no espalhamento do líquido em milhares de gotículas aumentando assim a superfície de contato total, e ao qual depende do tipo de bico atomizador (rotativo ou por bocal). A atomização resulta da aplicação de uma energia que age sobre o líquido até o ponto em que ocorre o seu rompimento e desintegração, criando uma nuvem de gotículas (Estágio 1);

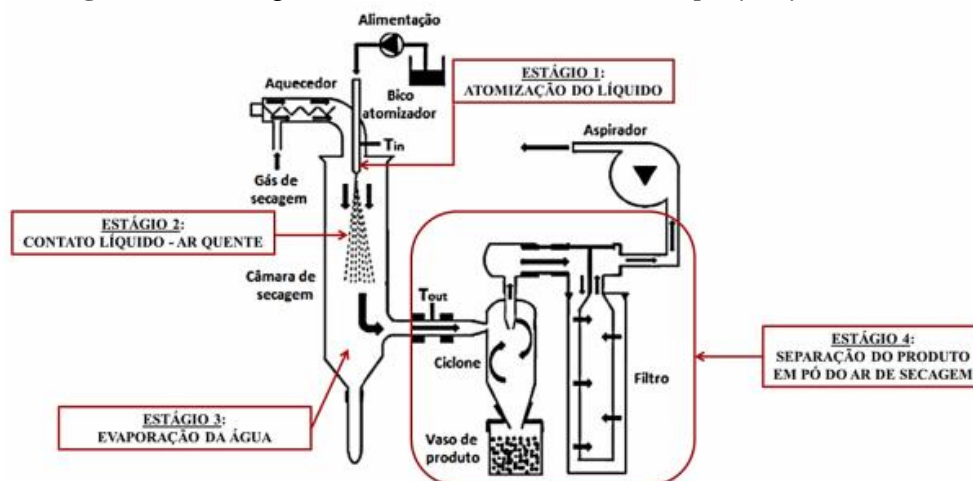
b) contato do líquido com o ar quente em um intervalo de tempo pequeno e suficiente para fornecer calor suficiente para a evaporação (Estágio 2);

c) evaporação da água, que depende do tempo de contato e da temperatura do ar (Estágio 3);

d) coleta do produto micro encapsulado que pode ser na base do *spray* e/ou na base do ciclone, em que tal retenção depende do tamanho das partículas e do tamanho do ciclone. As partículas aglomeradas, mais pesadas se depositam por gravidade no reservatório de produto, e as finas seguem o fluxo de sucção até ficarem retidas no filtro (Estágio 4).

Está representado na Figura 3, que correspondente a um fluxograma de secagem no *spray* proposto por Esteves (2006).

Figura 3 - Fluxograma de funcionamento de um *spray dryer*.



Fonte: Adaptado de Sarawade *et al.* (2011).

A qualidade de produto em pó obtido é influenciada pelas características da alimentação (concentração da alimentação, temperatura de alimentação, tipo e concentração de aditivos), do tipo de secador (dimensões, sistema de resfriamento, etc.) e das condições operacionais da secagem (temperatura de entrada e de saída do ar de secagem, vazão do ar, vazão da alimentação, velocidade de atomização ou pressão do bico atomizador) (KING *et al.*, 1984; MASTERS, 1985). Estas variáveis são importantes para otimizar o processo de secagem, para obter produtos na forma de pó, com bom rendimento e boas características nutricionais e sensoriais (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009b; ROCHA *et. al.*, 2014). O tamanho das gotículas está diretamente relacionado ao tempo de secagem e tamanho das partículas secas (ESTEVES, 2006).

A escolha do tipo do atomizador é fundamental, visto que a distribuição e o tamanho de partículas estão relacionados com o tamanho das gotículas formadas pelo processo de atomização (FILKOVÁ; MUJUMDAR, 1987; BROADHEAD; EDMOND ROUAN; RHODES, 1992; AMERI; MAA, 2006). Estes são classificados em três tipos básicos, sendo: bicos de pressão (a energia para a formação de gotas é fornecida pelo próprio líquido bombeado); bicos pneumáticos (um gás, geralmente o ar, é misturado à suspensão, fornecendo a energia para a formação das gotas); e discos rotatórios (o líquido é alimentado no centro do disco, posteriormente, caminha para as bordas do disco por forças centrífugas, sendo atomizado, formando uma nuvem de gotas) (PERRY; GREEN; MALONEY, 1997; OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Em relação ao sentido do fluxo de produto/fluxo do ar de secagem no interior do *spray dryer*, os modos possíveis são: concorrente, contracorrente ou misto. No fluxo concorrente o

material líquido pulverizado e o ar de secagem têm mesmo sentido de corrente dentro do equipamento. No fluxo contracorrente o material líquido e o ar de secagem têm sentidos de escoamento opostos dentro da câmara. O fluxo misto apresenta uma mistura dos dois sistemas anteriores (PEIGHAMBARDOUST *et al.*, 2011).

No caso da aplicação para grandes partículas, produtos não sensíveis ao calor, como é o caso dos detergentes, a torre de secagem deve apresentar configuração de fluxo contracorrente, com entrada de ar frio na base, e múltiplos bicos atomizadores de pressão (CAL *et al.*, 2010; PEIGHAMBARDOUST *et al.*, 2011).

2.4 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Ao estudar a planta da Ford de Detroit em 1950, Eiji Toyoda notou que ao longo do processo existiam diversos tipos de perdas, e que ao reduzi-las havia a oportunidade de melhoria do mesmo através da redução de custos que poderiam ser evitados, como a mudança de um *layout*. O foco em eliminar desperdícios consolidou a base do Sistema Toyota de Produção (TPS), que tem como pilares básicos: produção *just-in-time* e autonomia (OHNO, 1997).

O objetivo do sistema *just-in-time* (traduzido como “momento certo”) é eliminar estoques, uma vez que visa demanda de suprimentos para o processo apenas no momento do seu uso e na quantidade exata. Com esse quesito atendido, há garantia de um fluxo contínuo (sem entraves) no processo produtivo. Ainda de acordo com Ohno (1997), o segundo pilar é uma parceria entre a automação e o toque humano, que provém à máquina a capacidade de cessar o processo após identificação de anomalias; interrompendo, assim, a propagação de defeitos.

A visão diferenciada que a Toyota adotou para lidar com os custos de produção é ressaltada por Shingo (1996). De maneira geral, o preço final dos produtos é estabelecido de acordo com o somatório dos custos e o lucro da empresa. Assim, os custos são transferidos diretamente para os clientes de modo que, para haver um aumento no lucro, é necessário aumentar o preço de venda. A Toyota, entretanto, não considerava essa forma vantajosa pois os clientes são os delimitadores dos preços, uma vez que são eles que determinam quanto estão dispostos a pagar; e o custo de produção não os influencia nesta decisão. Com base nisso, o princípio da redução de custo para alavancar o lucro mantendo o preço final foi introduzido na empresa. Esse pensamento revolucionário proporcionou à Toyota maior lucratividade devido à

implementação de melhorias e trabalhos de redução de custos num geral, ratificando a essência do novo sistema implantado na companhia (SHINGO, 1996).

Devido a esta mentalidade de anti desperdício, faz-se distinção entre atividades que agregam e não agregam valor ao processo. Aquelas que promovem modificações no produto de forma a adicionar valor ao mesmo, ou seja, que são notadas pelos clientes são consideradas atividades de agregam valor. Quaisquer atividades que não atendem a esse quesito estão na segunda classificação. Nestas circunstâncias, atividades que não agregam valor são consideradas desperdício e, por este motivo, devem ser eliminadas (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Com este fim, o principal objetivo do TPS tornou-se a identificação e eliminação constante de perdas, consolidando uma luta contínua pela melhoria do processo, que une todos da empresa (SHINGO, 1996). Neste sistema há uma busca por formas mais eficientes de se desenvolver o trabalho e promover qualidade ao produto, visando sempre fazer mais e melhor com a menor quantidade de recursos possível. Partindo deste princípio, a Toyota explicitou 7 formas de desperdício que devem ser expurgadas do processo: superprodução, estoque disponível, tempos de espera, processamento, transporte, movimentação e geração de produtos defeituosos (OHNO, 1997).

2.5 LEAN MANUFACTURING

O termo *Lean Manufacturing* ganhou destaque mundial no livro “A Máquina que mudou o Mundo” (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). Nele, houve uma apresentação de um sistema que se contrapunha ao adotado na época: o sistema puxado; em que, de acordo com a demanda de mercado, tornava-se necessário uma maior quantidade de *setups* mantendo, contudo, baixos estoques e custos reduzidos. Em 2004 os mesmos autores comentam sobre a busca da mentalidade enxuta por intensidades menores de diversas áreas do processo produtivo, tais como espaço, esforço humano e estoque, além de produções menos defeituosas e mais diversificada.

A fim de alcançar os objetivos supracitados, o pensamento enxuto se alicerça em cinco pilares: especificação do valor às vistas do cliente; identificação do fluxo de valor; estabelecimento de fluxo contínuo; produção puxada e busca pela perfeição (processo sem falhas/geração de defeitos). As seguintes ferramentas, utilizadas para concretizar esses pilares, são descritas por Werkema (2011):

- 5S: conjunto de iniciativas que visam a redução de tempo de procura através da manutenção da limpeza e organização do ambiente de trabalho. As ações envolvidas são, em ordem: classificar, ordenar, limpar, padronizar e manter;
- Mapeamento do fluxo de valor: determina se a atividade em questão agrega ou não valor ao processo. Através de representação visual do fluxo de informações, materiais e ações da empresa, permite identificar gargalos e oportunidades de melhoria do processo;
- Métricas *lean*: consistem na quantificação dos resultados da organização em indicadores que possam ser medidos e avaliados. Eficiência total do equipamento (OEE), como tempo de ciclo e tempo de setup são alguns exemplos.
- *Kaizen* (Melhoria contínua): ideologia a melhoria contínua. Engloba programas de implementações de melhorias no processo e resoluções de problemas, advindas da criatividade das pessoas, seja por iniciativa individual ou pela formação de equipes multidisciplinares;
- Padronização: utilizada para reduzir a variabilidade dos processos, consiste em procedimentos de execução de atividades que devem ser seguidos e registrados para comprovar constância;
- *Kanban* (termo em japonês para “cartão”): ferramenta controladora da produção puxada que autoriza a realização de atividades apenas no momento correto de sua execução. Utiliza as cores de um semáforo (verde, amarelo e vermelho) para facilitar a gestão visual;
- Gestão visual: tornar visível e de fácil compreensão as informações que são importantes ser do conhecimento de todos, expondo-as em locais de fácil acesso;
- Redução do tempo de *setup* (ou configuração): minimização do tempo necessário para executar o procedimento de modificação da linha de produção para atender ao próximo produto, tornando todas as atividades internas em externas, de modo que a máquina não permaneça parada desnecessariamente;
- Manutenção produtiva total (do inglês, *Total Productive Maintenance* ou TPM): objetiva eliminar a necessidade de paradas na produção através busca garantir que as máquinas tenham condições de realizar as atividades de forma precisa, visando;
- *Poka-yoke* (traduzido do japonês como “à prova de erros”): consiste em dispositivos ou procedimentos à prova de falhas que buscam identificar anomalias no processo para que estas sejam eliminadas antes de prosseguirem na produção, de modo a eliminar a propagação de erros.

2.6 TÉCNICAS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS

Para o desenvolvimento das etapas do processo de melhoria é importante a utilização de algumas ferramentas da qualidade que são particularmente úteis para identificação de um problema e das causas raízes, implementação das ações propostas e verificação dos resultados obtidos (CARPINETTI, 2010).

2.6.1 Diagrama de Pareto

Diagrama de Pareto é a ferramenta de análise e priorização de problema mais utilizada na Toyota. É considerada uma ferramenta simples, mas poderosa para categorizar os problemas de acordo com sua frequência, natureza ou fonte. O diagrama é baseado no fenômeno em que a maioria dos defeitos é explicada pelas poucas causas. (LIKER, 2005).

De acordo com Carpinetti (2010), o diagrama foi criado pelo economista e sociólogo Vilfredo Pareto e adaptado aos problemas relacionados à qualidade por Joseph Moses Juran, e utiliza gráficos de barras verticais para dispor informações, evidenciando a ordem de importância de problemas e causas, medidas geralmente pela frequência de ocorrência.

O princípio de Pareto afirma também que entre todas as causas de um problema, algumas poucas são as grandes responsáveis pelos efeitos indesejáveis do problema. Logo, se forem identificadas as poucas causas vitais dos poucos problemas mais vitais enfrentados pela empresa, será possível eliminar quase todas as perdas por meio de um pequeno número de ações. (CARPINETTI, 2010).

2.6.2 Brainstorming

A técnica de *Brainstorming* é utilizada para o levantamento de ideias e opiniões para a condução de um trabalho em equipe. O objetivo dessa técnica é auxiliar o grupo a produzir e expor o máximo de ideias para identificar, principalmente, todas as possíveis causas do problema em um curto período de tempo. As causas citadas na sessão de *brainstorming* devem ser sintetizadas de forma a evitar duplicidade ou semelhança por terem sido apenas verbalizadas de forma diferente. É importante garantir a concisão e a precisão das opiniões de todos os

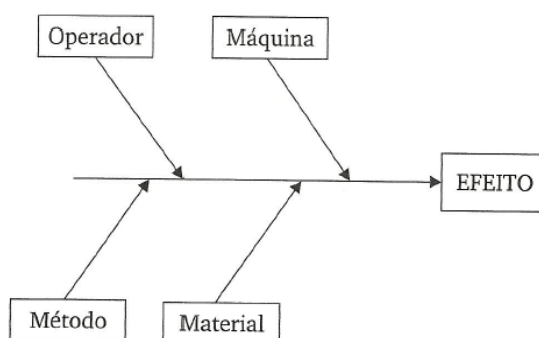
participantes, porém não se deve inibi-las ou criticá-las. Aplicar essa técnica é saber descartar o que não for procedente e separar as ideias que serão utilizadas e avaliadas (CARPINETTI, 2010).

2.6.3 Diagrama de causa e efeito

Segundo Carpinetti (2010), o diagrama de causa e efeito foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa, que contribuiu no desenvolvimento da visão ampla da qualidade e enfatizou a importância da participação de todos e do trabalho em grupo no que diz respeito à qualidade total. Ele enxergava o processo como um conjunto de causas que deveriam ser controladas para conseguir produtos e serviços com maior qualidade. O diagrama de espinha de peixe, como também é conhecido por lembrar o esqueleto de um peixe, representa as relações entre um problema ou efeito não desejável e todas as possíveis causas, que são classificadas, de forma geral, em quatro categorias: método, operador (mão de obra), material e máquina (Figura 4).

Para Slack, Chambers e Johnston (2009), o diagrama de Ishikawa, terceira denominação para esse diagrama, direciona todos os problemas visíveis para a identificação da causa fundamental. É um método que permite a visualização das causas obtidas pela geração de ideias do grupo ao utilizar o *brainstorming*.

Figura 4 -Estrutura básica de um diagrama de causa e efeito



Fonte: Carpinetti (2010)

2.6.4 Cinco porquês

Uma das ferramentas mais importantes para resolução de problema é a análise dos cinco “porquês” para chegar à causa raiz do problema. O método começa quando são identificadas as causas no diagrama de Ishikawa. Em seguida, deve-se perguntar *por que* cinco vezes a cada uma delas, até surgir uma causa que pareça suficientemente contida no problema para

implementar soluções no nível mais profundo, impedindo sua recorrência (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). A Figura 5 abaixo mostra um exemplo de formulário de análise dos cinco porquês.

Figura 5 - Análise dos cinco porquês.

ANÁLISE DOS 5 PORQUÊS					
EQUIPAMENTO:		FENÔMENO:		OBSERVAÇÃO:	
				<input type="checkbox"/> F Falso, a hipótese não se confirmou <input type="checkbox"/> V Verdadeiro, a hipótese foi confirmada e a análise terá prosseguimento	
Nº DA CAUSA	1º POR QUE	2º POR QUE	3º POR QUE	4º POR QUE	5º POR QUE

Fonte: O Autor (2022).

2.6.5 5W1H

No contexto do estado futuro, Carpinetti (2010) considera o 5W1H como uma ferramenta para implementação e acompanhamento das ações de melhoria de forma clara e detalhada. Essa ferramenta é utilizada como plano de ação e funciona como mapeamento das atividades a serem executadas no processo. As ações definidas precisam atuar diretamente na causa raiz, sendo eficazes para evitar ou minimizar a chance de recorrência da causa (Figura 6).

A nomenclatura 5W1H está associada às primeiras letras das seguintes informações em inglês, conforme Carpinetti (2010):

- What (O quê): descrição da ação que será implementada;
- Why (Por que): motivo para implementação da ação;
- Where (Onde): em que local ou área a ação será implementada;
- Who (Quem): pessoa responsável pela implementação da ação;
- When (Quando): data da implantação da ação;

- f) How (Como): descrição sobre como a ação será executada; e

Figura 6 - Plano de ação 5W1H

O QUÊ (What)	QUEM (Who)	QUANDO (When)	ONDE (Where)	POR QUÊ (Why)	COMO (How)

Fonte: Carpinetti (2010)

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa de estudo é uma indústria fabricante de produtos de limpeza e higiene pessoal que possui uma unidade de produção localizada em Pernambuco. A planta conta com quatro fábricas, cada uma responsável por um tipo de produto. O objeto de estudo é a fábrica responsável pela produção de detergente em pó, envasado em sachês de plástico e cartuchos de papelão, com uma produção de aproximadamente 330 toneladas de produto por dia, em três turnos, de segunda a sábado.

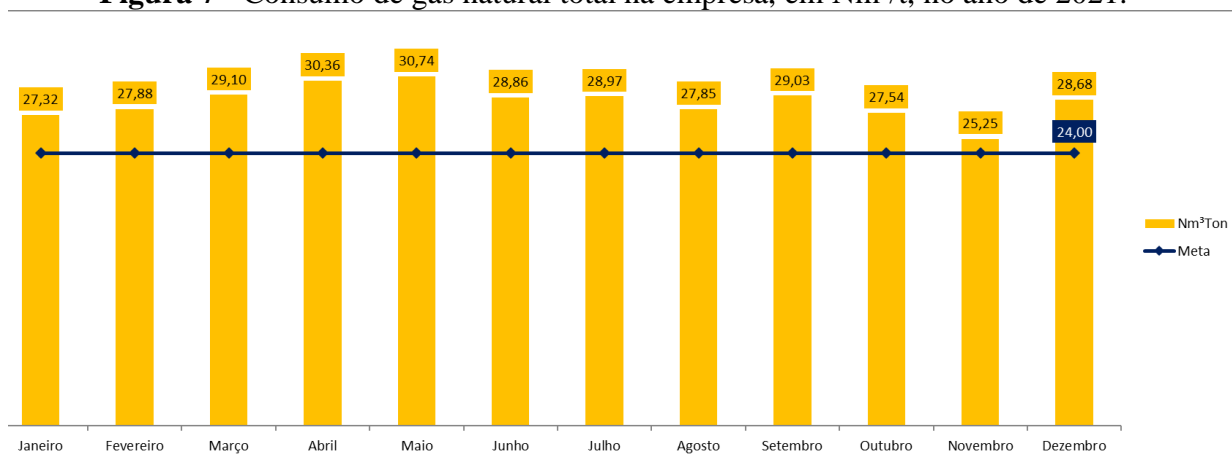
A fábrica possui cerca de 30 versões de produto, dispostas em 6 linhas de produção, que se divide em produtos de 200g, 400g, 500g, 800g, 1kg, 1,6kg, 2kg, 4kg e 5kg em sachês e 800g e 1,6kg em cartuchos. Esta unidade é responsável pela maior parte do faturamento da empresa, logo, vende e produz muito, por conta disso, tem um alto custo de produção e também perdas bastante altas.

Logo, esse trabalho será dedicado ao entendimento e a busca por solução de um dos motivos que eleva ainda mais o custo de produção, que é o alto consumo de gás natural. Em todas as etapas serão utilizadas ferramentas LEAN para auxiliar no processo.

3.2 IDENTIFICAÇÃO E OBSERVAÇÃO DO PROBLEMA

Inicialmente, tornou-se necessário obter-se os dados referentes ao consumo de gás natural total na empresa em questão a fim de ter um melhor entendimento a respeito do mesmo. Esses dados foram obtidos através da leitura feita diretamente no registro de leitura de consumo na Copergás. Na entrada da fábrica, existe uma pequena estação de distribuição de Gás Natural, na qual existe a aferição constante e pode ser realizado o acompanhamento do consumo através do registro. Para isto, foram realizadas leituras ao longo do ano de 2021, e na Figura 7 estão apresentados os parâmetros monitorados referente ao consumo de gás geral da empresa:

Figura 7 - Consumo de gás natural total na empresa, em Nm³/t, no ano de 2021.

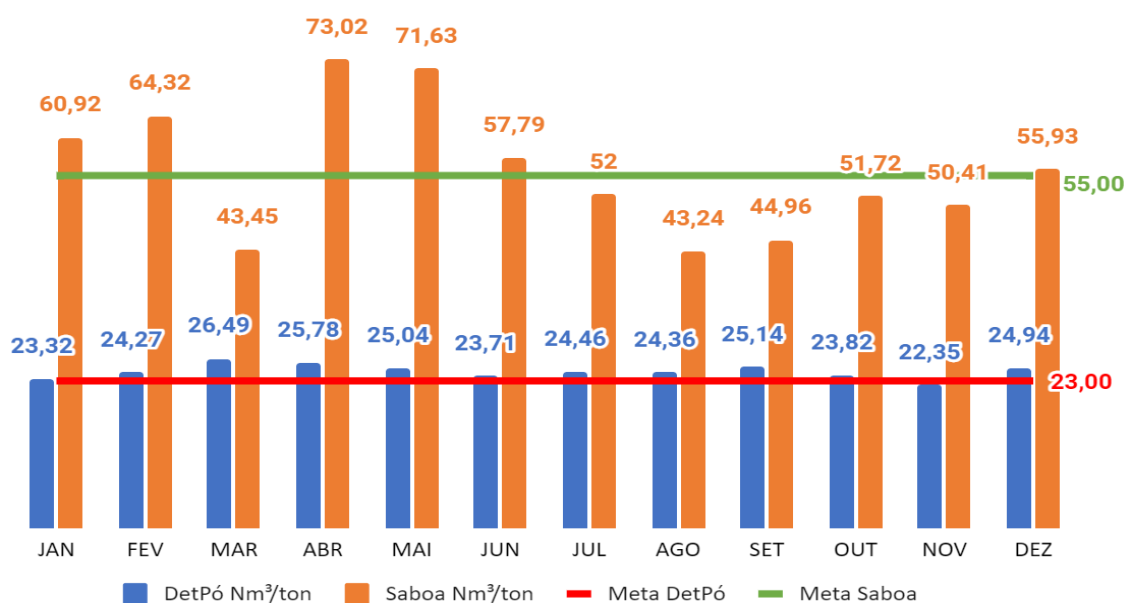


Fonte: A Autora (2022).

Através da Figura 7, pode-se constatar que todos os meses do ano de 2021 fecharam acima da meta de consumo de gás, que era de 24 Nm³/t.

Além disso, é importante salientar que, na empresa em estudo, o gás natural é utilizado na planta industrial de dois produtos: o detergente em pó e o sabão em barra. Na Figura 8, estão apresentados os dados de consumo em ambas fábricas, ao longo do ano de 2021.

Figura 8 - Comparativo do consumo de gás natural no ano de 2021 entre as plantas industriais (em azul, representando a planta do detergente em pó, e em laranja, a do sabão em barra).

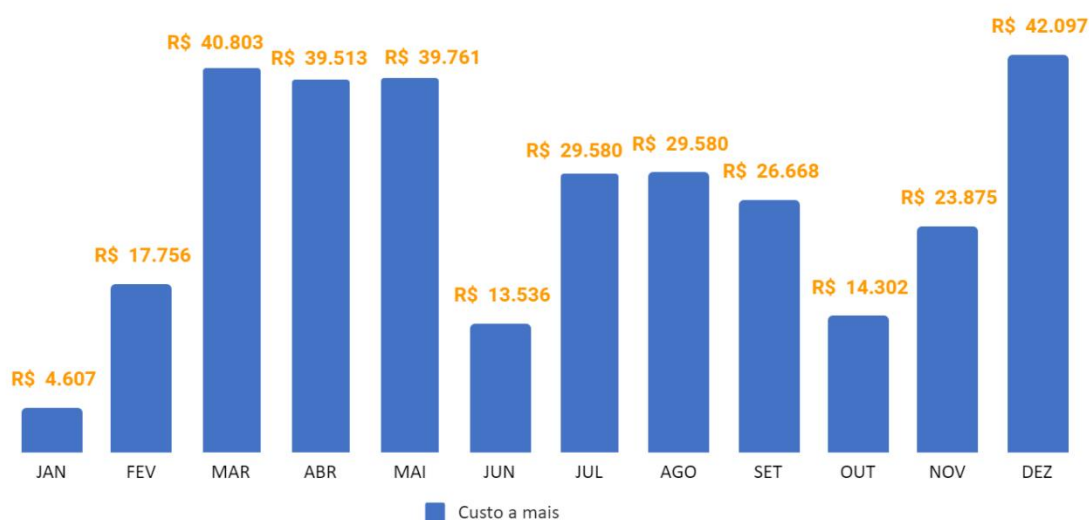


Fonte: A Autora (2022).

Avaliando a imagem acima e comparando as duas plantas, é possível analisar que a fábrica da saboaria conseguiu se manter dentro da meta em seis meses do ano, enquanto a planta

do detergente em pó teve um consumo acima do estabelecido em onze meses do ano de 2021 (91,66% do ano). O impacto desse consumo a mais, em reais, totalizou um custo de R\$ 322.080, e está representado na Figura 9 abaixo:

Figura 9 - Custo do consumo a mais de gás natural no ano de 2021.



Fonte: A Autora (2022).

3.3 ANÁLISE DO PROBLEMA

Após a extração e análise dos dados, a fábrica do detergente em pó foi escolhida como objeto de estudo e melhorias, devido ao fato de ter apresentado consumo excessivo de gás em quase todo o ano de 2021. Com o objetivo de envolver pessoas no processo de geração de ideias, formou-se uma equipe para estudo aprofundado composta por operadores do setor e pessoas que trabalhavam diretamente com o processo de produção. Apresentado o problema, foram marcadas reuniões de acompanhamento semanais para desenvolvimento do projeto de melhoria.

Inicialmente realizou-se o *brainstorming* com relação à realidade da linha e as dificuldades na rotina de produção. Além desse *brainstorming* com a equipe de melhoria, foram realizadas conversas com outros operadores mais antigos no setor, pessoal responsável por realizar manutenções na fábrica, filmagem e registros fotográficos da linha. Utilizou-se a estrutura do método 5W1H para entender melhor o problema, planejar e posteriormente estabelecer metas para serem alcançadas. O esquema do método 5W1H para o problema pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Organização do 5W1H para estruturação do problema do consumo de gás.

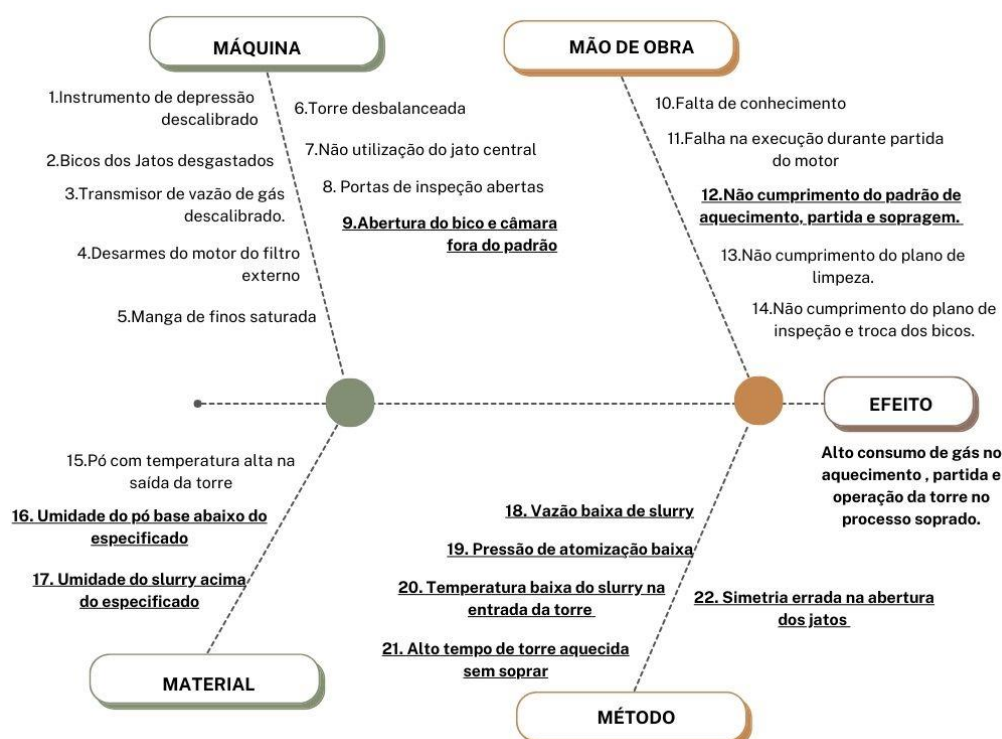
Metodologia 5W1H		Contexto do problema	
5W	Where? (Onde?)	Onde aconteceu?	Na torre de secagem <i>spray dryer</i> do processo produtivo.
	When? (Quando?)	Em que fase do processo ocorre (u) o problema?	No momento de aquecimento da torre e ao longo da produção normal.
	Who? (Quem?)	O problema pode ser relacionado à habilidade?	Sim, a falta de conhecimento e padronização da operação pode interferir no não cumprimento do padrão de aquecimento, partida e sopragem, e durante a operação, podendo causar falhas na execução durante ligação do motor.
	Why? (Qual?)	Existe tendência na ocorrência desse problema?	Sim, há uma tendência maior de ocorrer durante o aquecimento da torre e a sopragem. Além disso, observando os gráficos apresentados anteriormente, percebe-se oscilações e aumento no decorrer dos últimos 12 meses avaliados.
1H	How? (Como?)	Como se encontra o estado da ocorrência em relação ao estado padrão/desejado?	Tempo longo de torre ligada sem haver sopragem para secagem de slurry, além de alto consumo de gás para baixa vazão de produção.
Fenômeno (Como, O que, Onde, Quando, Qual e Quem): Tempo longo de torre ligada sem haver sopragem para secagem de slurry, além de alto consumo de gás para baixa vazão de produção, provocando consumo de gás por tonelada de pó final acima do especificado no processo de pó soprado na torre de secagem <i>spray dryer</i> do processo produtivo, ocorrendo no momento de aquecimento da torre e ao longo da produção normal, com tendencia maior durante o aquecimento e durante a sopragem, onde a falta de conhecimento e padronização da operação pode contribuir diretamente para que isso ocorra.			

Fonte: A Autora (2022).

Observando a realidade do problema e com o consenso da equipe foi estabelecido para o projeto a meta de reduzir o consumo de gás natural para que fique abaixo do valor máximo estabelecida de consumo.

Após as fases de identificação e observação do problema, o estudo chega à etapa de identificação e análise das possíveis anomalias do processo que causam o aumento do percentual de consumo de gás. Todas as possíveis causas do problema foram listadas através do *brainstorming*, classificando-as em quatro diferentes grupos: mão de obra, máquina, método e material. Na Figura 10, está exposto o diagrama de Ishikawa, também conhecido como espinha de peixe, com todas as causas levantadas. As causas marcadas em negrito e sublinhadas foram as pré-selecionadas para desenvolvimento. Neste ponto, foram consideradas todas as informações repassadas pelo grupo durante o brainstorming pelos participantes envolvidos no projeto.

Figura 10 - Diagrama de Ishikawa para o problema do consumo elevado de gás natural.



Fonte: A Autora (2022).

Tratando das causas que foram desenvolvidas, aplicou-se uma matriz de priorização, mostrada Tabela 1 com os participantes do projeto para definir quais delas seriam priorizadas na elaboração do plano de ação.

Tabela 1 - Matriz de priorização das causas do problema.

MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO							
	Nota dos Participantes						
Nº:	Relação de causas que podem estar provocando o problema: Alto Consumo de Gás Natural na Torre de Secagem	Autor do trabalho	Analista de Processo	Operador	Analista de manutenção	Gerente de planta	TOTAL
16	Umidade do pó base abaixo do especificado	5	5	5	5	5	25
17	Umidade do slurry acima do especificado	5	5	5	5	5	25
21	Alto tempo de torre aquecida sem soprar	5	5	5	5	5	25
12	Não cumprimento do padrão de aquecimento, partida e sopragem.	5	5	5	5	5	25
22	Simetria errada na abertura dos jatos	4	5	4	5	5	25
9	Abertura do bico e câmara fora do padrão	4	4	5	5	5	23
19	Pressão de atomização baixa	4	5	4	5	5	23
18	Vazão baixa de slurry	4	4	5	4	5	22
20	Temperatura baixa do slurry na entrada da torre	4	4	5	5	4	22
2	Bicos dos Jatos desgastados	4	4	4	3	4	19
1	Instrumento de depressão descalibrado	3	4	4	3	4	18
14	Não cumprimento do plano de inspeção e troca dos bicos.	4	4	3	3	3	17
10	Falta de conhecimento	3	4	3	3	3	16
13	Não cumprimento do plano de limpeza	4	4	3	2	3	16
15	Pó com temperatura alta na saída da torre	3	4	3	3	3	16
6	Torre desbalanceada	3	4	3	3	3	16
7	Não utilização do jato central	2	3	3	2	3	13
3	Transmissor de vazão de gás descalibrado.	3	3	3	2	2	13
4	Desarmes do motor do filtro externo	2	3	3	2	3	13
11	Falha na execução durante partida do motor	3	3	3	2	2	13
8	Portas de inspeção abertas	2	2	3	2	3	12
5	Manga de finos saturada	2	3	2	2	3	12

Fonte: A Autora (2022).

Considerando o total de cada causa, foram escolhidas as que obtiveram os maiores valores, ou seja, estas causas foram consideradas pela equipe como sendo as mais críticas e relevantes, apresentando maior impacto no problema, devendo ser atacadas prioritariamente e analisadas mais profundamente para que se chegue à causa fundamental do problema. Foram escolhidas, então, as causas: Umidade do pó base abaixo do especificado; Umidade do slurry acima do especificado; Alto tempo de torre aquecida sem soprar; Não cumprimento do padrão de aquecimento, partida e sopragem; Simetria errada na abertura dos jatos; Abertura do bico e câmara fora do padrão; Pressão de atomização baixa; Vazão baixa de slurry; Temperatura baixa do slurry na entrada da torre (causas 16, 17, 21, 12, 22, 9, 19, 18, 20, respectivamente).

3.4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

Para cada problema levantado, foram criadas ações para bloquear o surgimento dessas causas e atingir os objetivos definidos. A estratégia do plano de ação envolveu áreas de apoio ao processo para facilitar o desenvolvimento das ações, onde cada pessoa listada no plano fosse responsável em executá-las dentro dos prazos estabelecidos, prevenindo, assim, a recorrência do problema. Por fim, foram estabelecidos prazos e metas para cada solução, resumido na Tabela 2.

Tabela 2 - Planejamento do plano de ação para redução do consumo de gás natural no processo.

PROBLEMA IDENTIFICADO	CONTRAMEDIDAS	RESPONSÁVEL	PRAZO	STATUS
Umidade do pó base abaixo do especificado	Manter temperatura de saída do pó entre 70 e 90°C	Admilson Santos	30/01/2022	Concluído
	Treinamento da operação através de LPP	Milena	15/02/2022	Concluído
Umidade alta do slurry	Revisar parâmetros de formulação do slurry	Desenvolvimento/Qualidade	30/02/2022	Concluído
Alto tempo de torre aquecida sem soprar	Automatização do sistema de controle: iniciar a sopragem ao atingir a temperatura de 60°C	Automação/Crystian	15/02/2022	Concluído
Não cumprimento do padrão de aquecimento, partida e sopragem	Padronizar os parâmetros de aquecimento, partida e sopragem	Admilson/Milena	15/02/2022	Concluído
	Treinamento da operação através de LPP	Admilson/Milena	30/02/2022	Concluído
Simetria errada na abertura dos jatos	Padronizar através de LPP abertura dos jatos sempre um em frente ao outro, na diagonal.	Milena	15/02/2022	Concluído
Abertura do bico e câmara fora do padrão	Realizar troca dos bicos para um padrão que forneça um melhor ângulo de <i>spray</i> .	Admilson	15/03/2022	Concluído
Pressão de atomização baixa	Aumento da pressão de atomização de 40 para 52 kgf/cm ²	Admilson Santos	15/02/2022	Concluído
Vazão baixa de slurry	Aumento da vazão de slurry de 18 para 24	Admilson Santos	15/01/2022	Concluído
Temperatura baixa do slurry na entrada da torre	Aumentar a temperatura do slurry na entrada da torre de 60°C para 85°C	Admilson Santos	15/01/2022	Concluído
	Treinamento da operação através de LPP	Milena	15/02/2022	Concluído

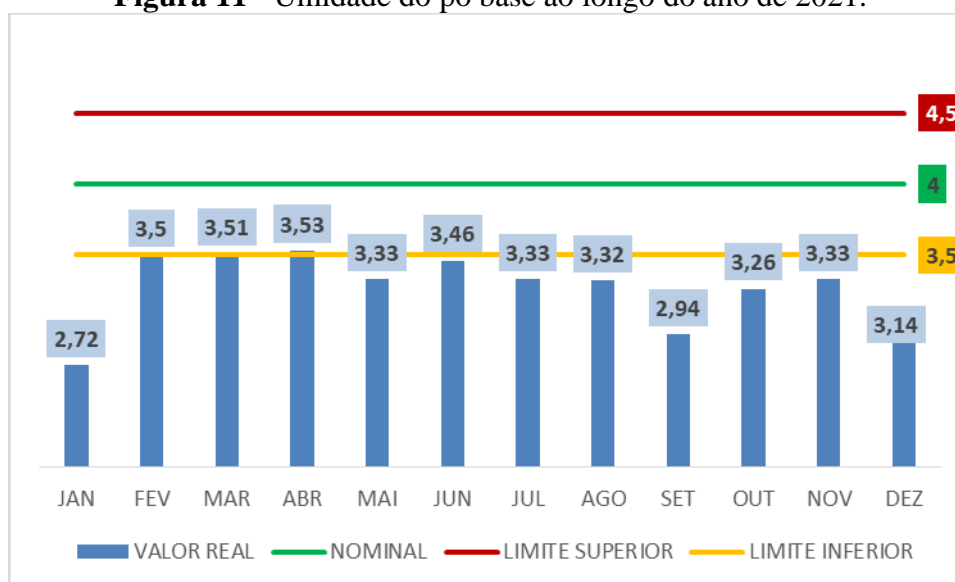
Fonte: A Autora (2022).

Além das ações terem como base as causas raízes do problema a equipe estruturou em conjunto qual seriam as contramedidas. Elas foram embasadas nas seguintes observações:

Causa 1 - Umidade do pó base (produto final) abaixo do especificado: A umidade do produto no final da secagem é determinada pela temperatura de saída, que por sua vez é dependente da temperatura de entrada. O melhor ajuste da temperatura de entrada e saída necessita ser estabelecido para otimização das características físicas do produto (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010). Através da avaliação da temperatura do ar de saída e da inspeção das

paredes da câmara de secagem é determinado o fluxo de alimentação. Se a temperatura do ar de entrada permanecer constante, uma diminuição na taxa de alimentação do líquido acarretará aumento na temperatura do material de saída (Masters, 1985; Rankell *et al.*, 2001). Além disso, as temperaturas de saída do ar e do produto não podem ser baixas para não permitir a aglomeração das partículas na etapa de separação (OLIVEIRA, 2018). Acima de 100°C e abaixo de 60 °C, o pó fica pegajoso, colando nas paredes do equipamento e dificultando seu transporte. Quanto maior a temperatura do pó final, menor é a sua umidade. E, quanto maior a temperatura, maior o gasto energético, resultando em um maior consumo de gás. Na Figura 11 abaixo, está mostrado a média de umidade do pó base dos meses de 2021, onde a umidade ficou abaixo do especificado, significando que o pó estava saindo com alta temperatura. Com este resultado observa-se que se gasta mais gás do que o necessário para realizar a secagem. A contramedida tomada foi padronizar a temperatura de saída do pó entre 70 e 90°C, o que equivale a uma umidade de 4,5%, e realizar treinamento da operação através de LPP (Lição Ponto a Ponto).

Figura 11 - Umidade do pó base ao longo do ano de 2021.



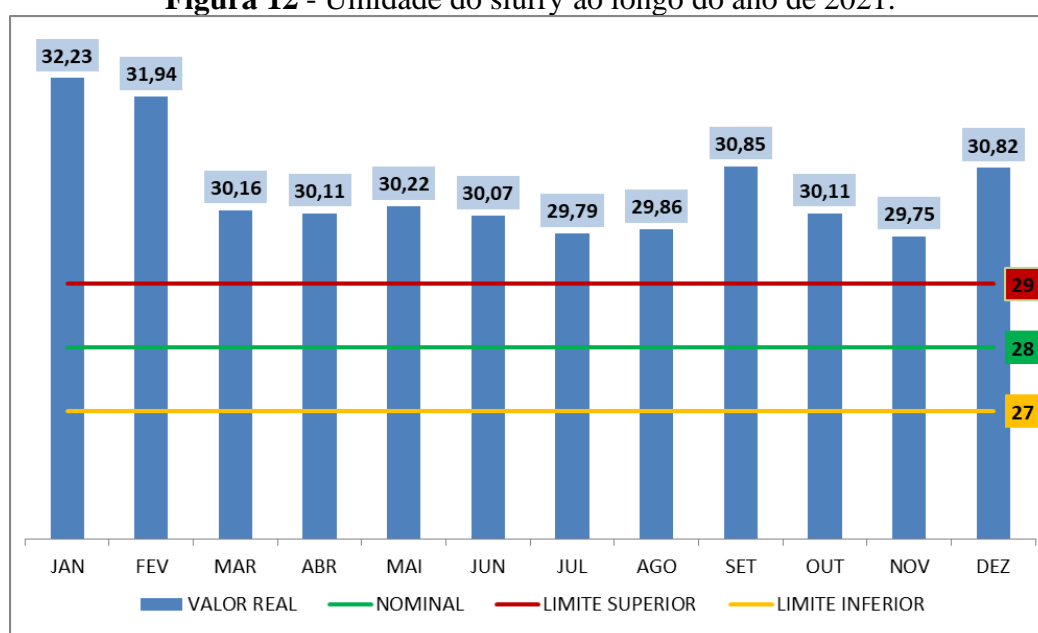
Fonte: A Autora (2022).

Causa 2 – Umidade do slurry (fluido a ser atomizado) acima do especificado:

Quando um fluxo de ar quente insaturado entra em contato com uma solução líquida, a umidade do ar aumenta e sua temperatura diminui devido à transferência simultânea de calor e massa. A umidade do líquido é transferida para o ar e o calor do ar para a solução. A retirada de umidade dos materiais consome uma elevada quantidade de energia devido ao elevado calor latente de

vaporização da água; no caso da secagem por *spray*, a energia consumida para evaporação do solvente é um fator relevante visto que é necessário aquecer o ar a temperaturas acima de 100 °C para se obter um pó com características físicas desejadas (OLIVEIRA, 2018). Quanto maior a umidade do material a ser atomizado, que nesse caso é o slurry, maior o gasto energético para que seja feita a secagem por completo. Logo, devido ao fato do slurry estar entrando com uma umidade alta, acima do especificado, como mostrado na Figura 12 abaixo, mais gás era utilizado para que fosse obtido um pó com as características desejadas. A contramedida para minimizar este problema foi acionar o setor de Desenvolvimento de Produtos e o setor de Qualidade para reavaliar a fórmula do slurry e realizar possíveis alterações.

Figura 12 - Umidade do slurry ao longo do ano de 2021.



Fonte: A Autora (2022).

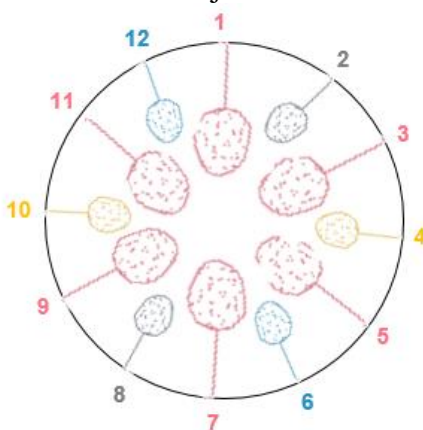
Causa 3 – Alto tempo de torre aquecida sem soprar: O aquecimento da torre era ativado, a torre aquecia e ficava muito tempo ligada sem haver sopragem, sem que houvesse atomização de slurry. A atomização só tinha início quando a torre atingia a temperatura mínima de 120°C, quando poderia ser iniciada na temperatura mínima de 60°C. Logo, o tempo entre início de aquecimento e início de sopragem era muito elevado, cerca de 1 hora, quando o correto deveria ser de 35 minutos. Além disso, no tempo gasto aquecendo de 60°C para 120°C havia consumo de gás sem haver produção. A partir disso, a contramedida planejada foi iniciar a sopragem da torre ao atingir a temperatura mínima de 60°C, automatizando o sistema de

controle da torre para abrir os jatos ao atingir essa temperatura. Depois, deverá ser feito o treinamento da operação através de LPP.

Causa 4 - Não cumprimento do padrão de aquecimento, partida e sopragem: Não havia um padrão de aquecimento, partida e sopragem. Cada operador do supervisão partia a torre e iniciava a sopragem com parâmetros diferentes, não havia padronização de vazão de gás natural e de ar, resultando em um maior consumo de gás natural. A contramedida planejada foi automatizar o sistema de controle da torre, padronizando a vazão de gás (FT 5001) durante o aquecimento de 16 a 18 Nm³. t⁻¹ h⁻¹ de pó final e a vazão de ar (FT 5000) a 44000 m³. h⁻¹. Depois, deverá ser feito o treinamento da operação através de LPP.

Causa 5 - Simetria errada na abertura dos jatos: A torre possui 12 bicos, longos e curtos. Os curtos, ocupam o espaço próximo ao costado (parede), enquanto os longos, ocupam mais o espaço central da torre. Quanto mais bicos abertos, maior a ocupação da torre. Porém, ordem de abertura dos jatos tem influência direta na ocupação da torre. O ideal é que essa abertura seja feita de forma simétrica, evitando que se formem buracos entre a atomização dentro da torre, e causando perda por escapamento de ar quente. O aproveitamento da área da torre influencia fortemente o processo de secagem. A contramedida realizada foi padronizar a abertura de jatos de forma simétrica, como mostrado na Figura 13 abaixo, e realizar treinamento da operação através de LPP.

Figura 13 - Abertura dos jatos de forma simétrica.

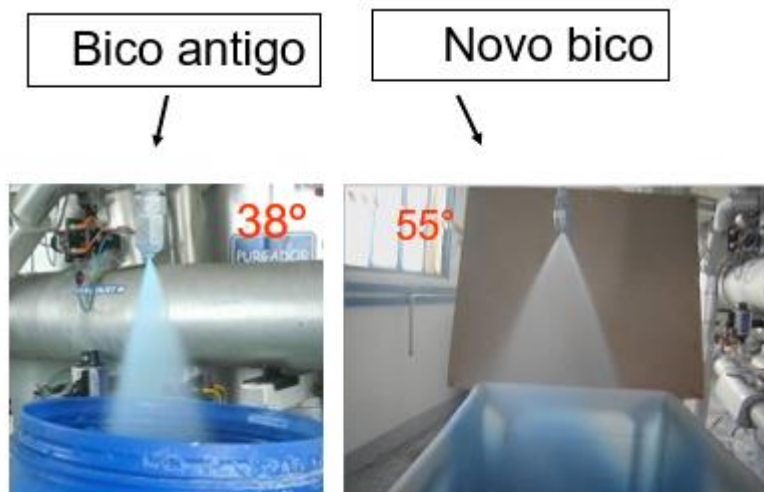


Fonte: A Autora (2022).

Causa 6 - Diâmetro do bico e câmara fora do padrão de boa atomização: Abertura da câmara era maior que a abertura do bico, quando o correto é a abertura do bico ser maior do

que a da câmara. Isso causava um ângulo de atomização de 38° (Figura 14) diminuindo o leque de atomização e consequentemente, formando grumos e dificultando a secagem, necessitando maior consumo de gás para secar o slurry. A contramedida foi inverter e modificar a abertura do conjunto bico-câmara, aumentando o ângulo para 55° (Figura 14), consequentemente, cobrindo melhor a torre e diminuindo o consumo de gás, facilitando a secagem.

Figura 14 - Ângulo de atomização com bico antigo e novo.



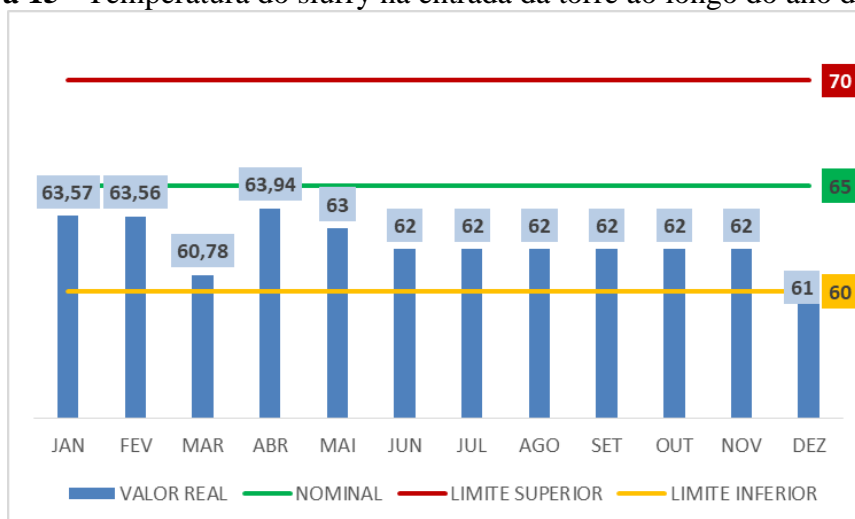
Fonte: A Autora (2022).

Causa 7 - Pressão de atomização baixa: A pressão de pulverização exercida sobre o bico hidráulico fornece energia para quebrar o fluxo do líquido em gotas, sendo um fator fundamental para regular o tamanho da gota pulverizada. Em geral, maiores pressões produzem gotas menores. Um estudo com um bico demonstrou que o aumento da pressão de 20 PSI para 40 PSI mais que dobrou o volume de gotas menores que $100\ \mu\text{m}$. Reduzindo a pressão, a deriva será reduzida, pois gotas maiores serão formadas, mas quando se opera com um bico abaixo da pressão recomendada, a cobertura efetiva será afetada, resultando em uma sobreposição inadequada e uma má distribuição (AMERI; MAA, 2006; ANANDHARAMAKRISHNAN *et al.*, 2007). Uma menor pressão de atomização causa uma diminuição do leque de atomização e produz gotas maiores, além de diminuir a vazão de alimentação da torre. Isso faz com que a ocupação interna da torre seja reduzida, já que as moléculas estão maiores, além de dificultar a secagem pois há uma diminuição da superfície de contato das gotas com o ar quente, sendo necessário um maior tempo e maior consumo de gás. A contramedida tomada foi de aumentar e padronizar, através de treinamentos, a pressão de atomização de 40 para $52\ \text{kgf. cm}^{-2}$.

Causa 8 - Vazão baixa de slurry: O ajuste da vazão de alimentação tem como objetivo a evaporação do líquido presente nas gotículas antes que estas entrem em contato com as paredes da câmara de secagem. O aumento da velocidade de alimentação excessiva conduz à diminuição da temperatura de saída e ao acúmulo do material sobre as paredes da câmara (MASTERS, 1985; RANKELL; LIEBERMAN; SCHIFFMAN, 2001). A taxa de secagem, a morfologia e o rendimento das partículas sofrem a influência da vazão de alimentação do líquido (AMERI; MAA, 2006; ANANDHARAMAKRISHNAN *et al.*, 2007). Nesse caso, a alimentação da torre é feita com o slurry formado no reator. Uma baixa vazão de slurry deixa a torre internamente menos ocupada, gerando escapamento de temperatura sem que haja o processo de atomização do mesmo. Quanto maior a vazão de alimentação de slurry, mais preenchida vai estar a torre, e todo o calor será utilizado, minimizando a perda de gás por escapamento de calor. Logo, deve-se buscar ocupar o máximo de espaço da torre. A contramedida a ser feita foi o aumento da vazão de alimentação de slurry, passando de 18 para 24 t. h⁻¹.

Causa 9 - Temperatura baixa do slurry na entrada da torre: O aumento na temperatura do material na entrada facilita o processo de secagem, pois normalmente reduz a tensão superficial e a viscosidade, facilitando a formação de gotículas. A temperatura de entrada deve estar acima do ponto de ebulição do solvente a ser evaporado. A umidade do produto no final da secagem é determinada pela temperatura de saída, que por sua vez é dependente da temperatura de entrada. O melhor ajuste da temperatura de entrada e saída necessita ser estabelecido para otimização das características físicas do produto (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010). Como já citado, alimentação da torre é feita com o slurry formado no reator. Uma temperatura mais baixa deixa o slurry mais denso, dificultando a dispersão de suas moléculas na atomização, fazendo com que fosse necessário um maior gasto energético de gás para realizar a secagem do material e, como mostrado na Figura 15 abaixo, todos os meses de 2021 obteve resultado negativo quanto a temperatura do slurry, fechando todos os meses abaixo da meta. Após diversos testes para ver qual a temperatura ideal, a contramedida tomada foi aumentar a temperatura do slurry na entrada da torre de 65°C para 85°C, e realizar treinamento da operação.

Figura 15 - Temperatura do slurry na entrada da torre ao longo do ano de 2021.



Fonte: A Autora (2022).

A execução do plano proposto teve um acompanhamento através de reuniões periódicas para follow-up das demandas com os responsáveis e possíveis dificuldades encontradas, isto tudo considerando o prazo limite das ações.

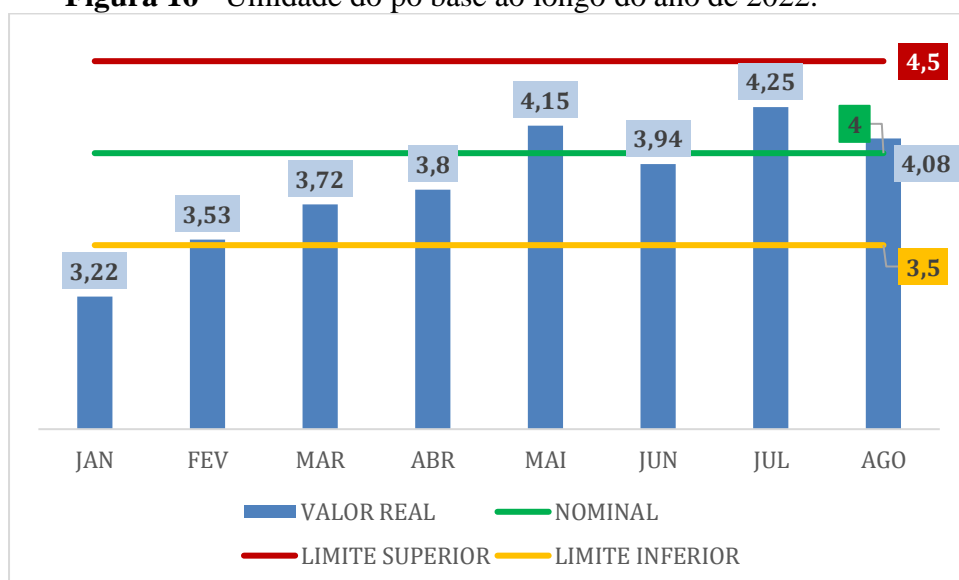
Através da colaboração e do comprometimento de todos os envolvidos, juntamente à utilização adequada dos recursos disponíveis, as ações foram executadas dentro dos prazos estabelecidos, conforme planejado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as ações executadas durante o mês de janeiro e fevereiro, foram verificados os resultados destes meses até o mês de agosto para saber se o problema foi resolvido com sucesso.

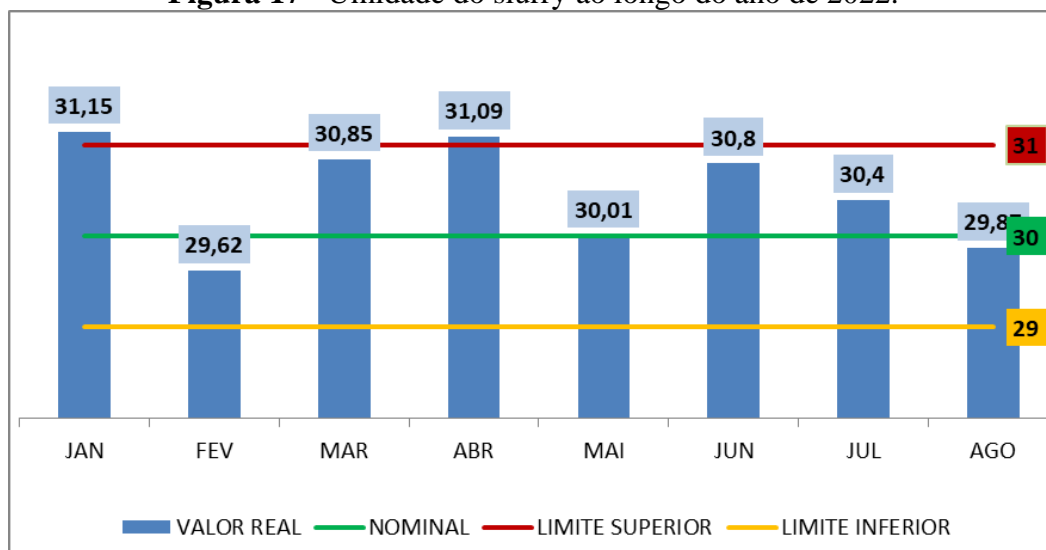
Para a causa 1 (umidade do pó base abaixo do especificado), a contramedida foi realizada e os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 16, onde a partir do 5º mês de implementação os resultados se mostraram próximo ao nominal.

Figura 16 - Umidade do pó base ao longo do ano de 2022.



Fonte: A Autora (2022).

Em relação a causa 2, referente a umidade do *slurry* (fluido a ser atomizado) acima do especificado, os setores de Desenvolvimento e Qualidade foram acionados e, após análises e estudos, foi realizado um ajuste de formulação no *slurry*, concentrando a quantidade de ativos do mesmo e reduzindo sua alcalinidade, tornando-o mais viscoso. Para balancear a viscosidade do *slurry* em decorrência do aumento da concentração do ativo, foi necessário acrescentar mais água a sua composição para que ele fluísse com mais facilidade. Devido a esse feito, o valor estabelecido como nominal em 2021 e os limites de variação sofreram alteração no ano de 2022, como mostrado na Figura 17. Apesar dessas mudanças, foi possível obter-se um resultado positivo, onde os meses ficaram próximos ao nominal.

Figura 17 - Umidade do slurry ao longo do ano de 2022.

Fonte: A Autora (2022).

Para as causas 3 e 4, referentes ao alto tempo de torre aquecida sem soprar e o não cumprimento do padrão de aquecimento, partida e sopragem, as contramedidas adotadas foram realizadas, implementando um sistema automatizado, foi criado a Lição Ponto a Ponto (LPP), a DET-SEC-LPP-006, disponível no Apêndice 1, e realizado treinamento da operação.

Quanto a causa 5, referente a simetria errada na abertura dos jatos, a contramedida de padronizar a abertura de forma simétrica foi feita, e foram elaborados dois documentos de Lição Ponto a Ponto (LPP) referentes a esse tema, o DET-SEC-LPP-005 e o DET-SEC-LPP-010, mostrados no Apêndice 2, realizando treinamento da operação nos mesmos.

A causa 6 também foi implementada, como mostrado na Figura 18 abaixo, onde a abertura da câmara passou a ser menor que a abertura do bico, aumentando o leque de atomização de 38° para 55°.

Figura 18 - Conjuntos bico-câmara nas dimensões antigas e novas, respectivamente.

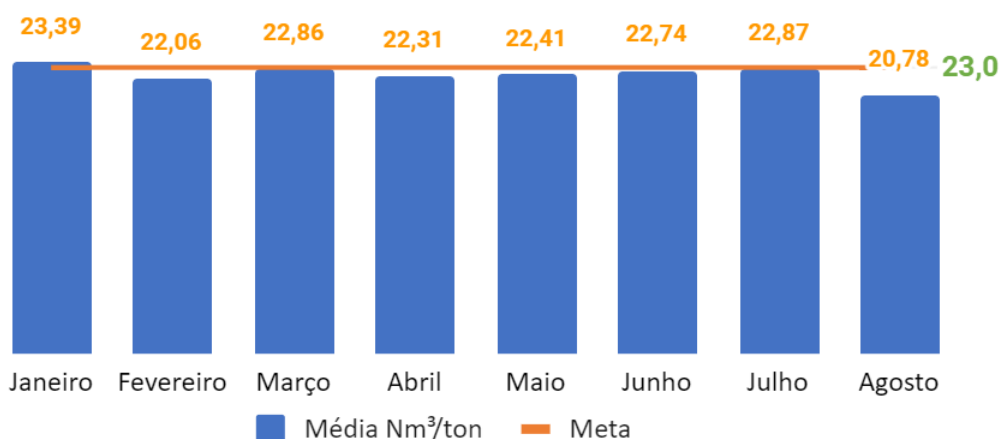
Fonte: A Autora (2022).

As causas 7 e 8, referentes a pressão de atomização baixa e a vazão baixa de slurry, também foram implementadas as contramedidas propostas, onde a pressão de atomização passou de 40 para 52 kgf. cm⁻², e a vazão de *slurry* foi de 18 para 24 t . h⁻¹.

Por fim, a causa 9, referente a temperatura baixa do slurry na entrada da torre, a temperatura do *slurry* na entrada da torre foi elevada de 65°C para 85°C, foi construído padronizada através da construção da LPP-SEC-LPP-003 e realizar treinamento da operação.

Por fim, após conclusão de todas as contramedidas citadas acima, foram realizadas medições do consumo total de gás natural na fábrica do detergente em pó ao longo deste período e comparado com a meta estabelecida no início do trabalho, mostrado na Figura 19.

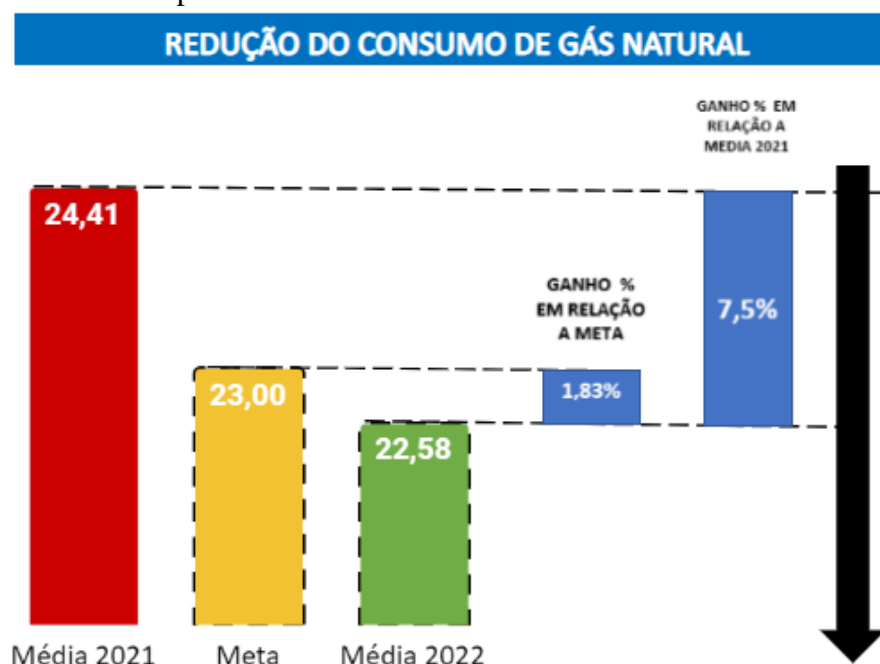
Figura 19 - Consumo de gás natural no ano de 2022 na planta do Detergente em Pó.



Fonte: A Autora (2022).

O resultado obtido nos meses de acompanhamento do grupo foi satisfatório, abaixo da meta de 23,0%, exceto no mês de janeiro, que foi o mês em que as ações de melhoria ainda estavam sendo implantadas. Comparando a média dos doze meses anteriores e dos oito meses posteriores ao início da atuação do grupo no problema identificado, houve uma redução de 7,5%. Assim, o resultado ficou 1,83% abaixo da meta estabelecida, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Resultado comparativo entre os doze meses anteriores e à meta estabelecida.



Fonte: A Autora (2022).

Com a implementação das ações, o consumo de gás natural foi reduzido e assim conseguiu-se maiores valores de produção com qualidade e redução de custo, além de alcançar resultados melhores do que o definido previamente.

A utilização do LEAN objetivando a melhoria contínua, a maior capacidade produtiva, a agilidade de produção e a redução de custos minimizando ou eliminando os desperdícios, atrelado as ferramentas de qualidade, se mostrou totalmente viável para redução do consumo de gás natural no processo de fabricação do detergente em pó. As perdas geradas no processo produtivo foram identificadas através de uma forte análise no *gemba*, entrevistas com os funcionários que trabalham no local onde o problema foi identificado e do acompanhamento dos relatórios mensais de produção, facilitando no reconhecimento e atuação do grupo nas perdas que estavam impactando no faturamento da empresa. A aplicação das ferramentas de qualidade para análise de perda permitiu a identificação das causas raízes e a elaboração de um plano de ação que contemplou ações de melhoria relacionadas à máquina, material e método.

A fim de garantir a padronização das ações, os procedimentos (LPPs) foram criados e aprovados pelos gestores da área e definidos como padrão, contendo informações a respeito de como deve ser realizada corretamente as ações e quais valores de parâmetros usar. A operação envolvida foi treinada no respeito da importância de se realizar a atividade de acordo com o padrão estabelecido.

5 CONCLUSÃO

Qualquer empresa, independente do seu porte, tem problemas e precisa encontrar melhores formas de gerenciá-los a fim de sanar suas causas de origem. Além da grande competitividade natural no mercado, elas precisam estar preparadas a inovar nos seus processos e otimizá-los.

O presente trabalho permitiu a redução do consumo de gás natural no processo de secagem do detergente em pó da empresa em estudo. Para alcançar este objetivo, foram analisadas as possíveis causas do consumo excessivo do gás natural no processo de secagem, fazendo o uso dos pilares e conceitos da metodologia Lean para redução esperada. Em seguida, foi feita a padronização a respeito das ações tomadas através de LPP e, por fim, realizou-se treinamentos para a operação afim de evitar que os problemas identificados retornem.

As contramedidas elaboradas surtiram efeito sobre o consumo de gás que foi reduzido de um consumo de 24,41 para 22,58 Nm³. T⁻¹, uma redução de 7,5%, mantendo todos os valores do ano de 2022 dentro da meta estabelecida para consumo. Além de atingir o objetivo principal de redução do consumo de gás, as contramedidas também afetaram positivamente alguns subprodutos do processo, como o *slurry* e o pó base, onde, através das ações tomadas, foi possível obter valores médios mensais mais próximos ao nominal desejado pela empresa.

Por fim, deverão ser realizados acompanhamentos e controle dos dados, para manter um controle de processo e evitar que os problemas identificados retornem. Com isso, espera-se que outras frentes de trabalho possam ser montadas para dar andamento na busca da melhoria contínua e da excelência operacional, princípio fundamental da filosofia LEAN.

REFERÊNCIAS

- ABRA IND. **Associados ABRA na Mídia: A indústria brasileira de sabão**. Disponível em: <<https://abra.ind.br/associados-abra-na-midia-a-industria-brasileira-de-sabao/>> Acesso em: 27 de julho de 2022.
- AMERI, A.; MAA, Y. F. *Spray Drying of Biopharmaceuticals: Stability and Process Considerations*. **Drying Technology**, v. 24, n. 6, p. 763-768, 2006.
- ANDRADE, M. M. de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 1994.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C; RIELLY, C. D.; STAPLEY, A. G. F. **Effects of Process Variables on the Denaturation of Whey Proteins during *Spray Drying***. *Drying Technology*, v. 25, p. 799-807, 2007.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, DF, 2005.
- BROADHEAD, J.; EDMOND ROUAN, S. K.; RHODES, C. T. The *spray drying* of pharmaceuticals. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v.18, n.11-12, p.1169-1206, 1992.
- Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. (1992) **Drying and storage of grains and oilseeds**. The AVI Publishing Company, Westport.
- CAL, K.; SOLLOHUB, K. *Spray drying technique I: Hardware and Process Parameters*. **Journal of pharmaceutical sciences**, v.99, p.575-586, 2010.
- CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas S.A., 2010.
- CASTRO, H. F. de. **Sabões e Detergentes**. Processos Químicos Industriais II. Apostila 6. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena, 2009.
- FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.1, p.15-28, 2010.
- FILKOVÁ, I.; MUJUMDAR; A. S. Industrial *spray drying* systems. In: Mujundar AS. **Handbook of Industrial Drying**. Nova York: Dekker, 1987.
- ESTEVES, B. N. **Influência do processo de secagem por pulverização mecânica (*spray dryer*) no tamanho de partícula e densidade aparente do café solúvel**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- HOUSEHOULDINNOVATION. **Mercado de lava-roupas, 2020**. Disponível em: <<https://householdinnovation.com.br/mercado-de-lava-roupas-aponta-oportunidades-paranovos-players/>> Acessado em 29 de julho de 2022 às 21:36 h.

HOUSEHOLD&COSMÉTICOS. **Detergentes lava-roupas devem crescer mais de 20% até 2025 no Brasil.** Disponível em: <<https://revistahec.com.br/detergentes-lava-roupas-devem-crescer-mais-de-20-ate-2025-no-brasil/#:~:text=2025%20no%20Brasil-,Detergentes%20lava%20roupas%20devem%20crescer%20mais,20%25%20at%C3%A9%202025%20no%20Brasil&text=O%20mercado%20de%20detergentes%20lava,2015%2C%20segundo%20a%20Euromonitor%20International.>> Acesso em: 03 de agosto de 2022 às 19:47.

KING, C. J.; KIECKBUSCH, T. G.; GREENWALD, C. G. Food quality factors in *spray drying*. **Advantages in Drying**, v.3, p.71-120. 1984.

LIKER, Jeffret K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook.** 4ed. Londres: George Godwin, 1985.

MUJUMDAR, A; S. Handbook of Industrial Drying. 2ed. MUJUMDAR, A; S. **Handbook of Industrial Drying.** 2ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1995.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n.4, p.641-650, 2010.

OLIVEIRA, K. S. . **Modelagem e simulação do processo de microencapsulação de lipídios por *spray dryer*.** 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em Fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PEIGHAMBARDOUST, S. H.; TAFTI, A. G.; HESARI, J. Application of *spray drying* for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in food science & technology**. v. 22, n.5, p.215-224, 2011.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. **Perry's Chemical Engineers' Handbook.** New York: McGraw-Hill, 1997.

RÉ, M.I. **Microencapsulation by *spray drying*.** *Drying Technology*, v.16, n.6, p.1195- 1236, 1998.

ROSA E.D.; TSUKADA M.; FREITAS L.A.P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações.** Trabalho financiado pela Labmaq do Brasil Ltda. Disponível em: <<http://www.labmaqdobrasil.com.br/downloads/spray-dryers/Fundamentos%20e%20Aplicacoes%20da%20Secagem%20por%20Atomizacao%20na%20Industria%20de%20Alimentos.pdf>> . Acesso em: 26 de julho 2022.

RANKELL, A. S.; LIEBERMAN, HÁ; SCHIFFMAN, R. F. Secagem. In: Lachman L, Lieberman HA, Kanig JL. Teoria e prática na indústria farmacêutica, v. 1. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 2001.

SARAWADE, P. B.; KIM, J.; HILONGA, A.; QUANG, D.V.; KIM, H.T. Effect of drying technique on the physicochemical properties of sodium silicate-based mesoporous precipitated sílica. *Applied Surface Science*, v.258. n.2, p.955-961, 2011.

SCHUCK, P. Understanding the factors affecting *spray* -dried dairy powder properties and behavior. In: CORREDIG, M. Dairy-derived ingredients. 1 ed. Boca Raton: CRC, 2009. Cap. 2, p. 24-50.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção.** 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SILVA, Raissa Henrique. **Secagem do extrato da casca de berinjela (*Solanum melongena* L.) por atomização em *spray dryer* com adição de adjuvantes.** 2017. B.S. thesis – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by *spray drying*. **Journal of Food Engineering**, v.88, p.411- 418, 2008.

WANG, X.; ECONOMIDES, M. **Advanced Natural Gas Engineering.** 1 ed. Texas: Gulf Publishing Company, 2009. 368p.

WERKEMA, C. **Lean seis sigma: introdução às ferramentas do *lean manufacturing*.** 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do *Massachusetts Institute of Technology* sobre o futuro do automóvel.** 11.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE 1)

LPP-SEC-LPP-006: PADRONIZAÇÃO DO TEMPO DE AQUECIMENTO E PARTIDA DA TORRE.

LIÇÃO PONTO A PONTO							
Tema	ABERTURA DOS JATOS DA TORRE DE SOPRAGEM			Número	006	Data de Preparação	12/02/2022
				Linha / Área	TORRE DE SOPRAGEM	Passo de MA:	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7
Perda	1 - Quebra falha 2 - Set up / Troca / Changeover 3 - Troca de ferramentais			4 - Início e fim de produção / 5 - Chokotei / pequenas paradas 6 - Velocidade reduzida		7 - Defeitos e retrabalhos 9 - Gerenciamento 10 - Mobilidade operacional	
		11 - Organização da linha 12 - Logística 13 - Medições e ajustes					
Classificação	<input type="checkbox"/> Conhecimento Básico	Classificação para arquivo	<input type="checkbox"/> Qualidade	Preparado por: Milena Rabêlo		Data: 12/02/22	
	<input checked="" type="checkbox"/> Caso de Melhoria		<input checked="" type="checkbox"/> Geral Linha	Supervisor. Área: Admilson E. Santos		Data: 12/02/22	
<input type="checkbox"/> Caso Problema			<input type="checkbox"/> Equipamentos	Coord. Mec/Qual/Seg:		Data: ____ - ____ - ____	
			<input type="checkbox"/> Segurança	Assinaturas			

PADRONIZAÇÃO DO TEMPO DE AQUECIMENTO E PARTIDA DA TORRE

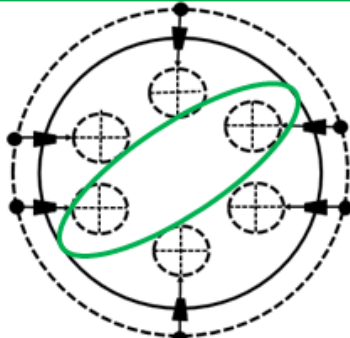
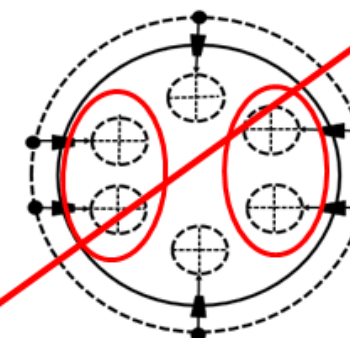
Comportamentos a serem seguidos:

- 1 – Para reduzir o consumo de gás no processo, o tempo entre início de aquecimento e início de sopragem deve ser de no máximo **35 minutos**.
- 2 – Evitar o início de aquecimento da torre perto do horário da troca de turno.
- 3 – Evitar deixar a torre ligada com temperatura de 60°C sem soprar.
- 4 – A vazão de gás (FT 5001) durante o aquecimento deve ser de 16 a 18 Nm³/ton*h de pó final e a vazão de ar (FT 5000) entre 44000 m³/h.

<u>Conhecimento Básico</u>	<u>Caso melhoria</u>	<u>Caso Problema</u>
1- Desenho do assunto em questão 2- O que é? 3- Onde se localiza? 4 - Para que serve? 5- Como funciona? 6 - Cuidados Básicos	1 - Desenho da situação original 2 - O que é? 3 - Quais as dificuldades? 4 - Desenho das nova situação. 5 - Qual o ganho com a melhoria?	1 -Desenho do local. 2 - O que é? 3 - O que ocorre? 4 - Qual a influência na qualidade do produto? 5 - Qual é a solução p/ eliminar a inconveniência? 6 - Quais são os equipamentos que devem ser modificados?

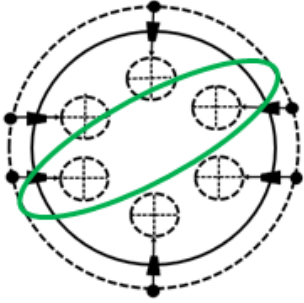
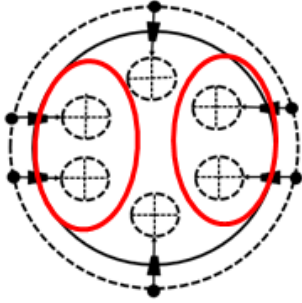
APÊNDICE 2.a)

LPP-SEC-LPP-005: ABERTURA DOS JATOS INFERIORES DA TORRE DE SOPRAGEM.

LIÇÃO PONTO A PONTO								
Tema	ABERTURA DOS JATOS INFERIORES DA TORRE DE SOPRAGEM			Número	005	Data de Preparação	08/02/2022	
				Linha / Área	TORRE DE SOPRAGEM	Passo de MA:		
					<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] </div>			
Perda		1 - Quebra falha 2 - Set up / Troca / Changeover 3 - Troca de ferramentas		4 - Início e fim de produção / 5 - Chokotei / pequenas paradas 6 - Velocidade reduzida		7 - Defeitos e retrabalhos 9 - Gerenciamento 10 - Mobilidade operacional		11 - Organização da linha 12 - Logística 13 - Medições e ajustes
Classificação	<input type="checkbox"/> Conhecimento Básico <input checked="" type="checkbox"/> Caso de Melhoria <input type="checkbox"/> Caso Problema		Classificação para arquivo	<input type="checkbox"/> Qualidade <input checked="" type="checkbox"/> Geral Linha <input type="checkbox"/> Equipamentos <input type="checkbox"/> Segurança		Preparado por: Ass.: Milena Rabêlo Data: 08/02/22 Supervisor. Área: Ass.: Lucas Pereira Data: 08/02/22 Coord. Mec/Qual/Seg: Ass.: _____ Data: _____		
<p style="text-align: center;">1º PASSO:</p> <p style="text-align: center;">Abrir todos os 6 jatos superiores primeiro.</p> <p style="text-align: center;">2º PASSO:</p> <p style="text-align: center;">Abrir os jatos da parte inferior sempre de forma cruzadas conforme a imagem ao lado.</p>				<p style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">CORRETO!!!</p> 				
<p style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">ATENÇÃO!!</p> <p style="text-align: center;">Em caso de abrir menos de 12 jatos, não abrir os jatos da parte inferior um do lado do outro conforme a imagem ao lado...</p>				<p style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">ERRADO!!</p> 				
<u>Conhecimento Básico</u>		<u>Caso melhoria</u>		<u>Caso Problema</u>				
1- Desenho do assunto em questão 2 - O que é? 3 - Onde se localiza? 4 - Para que serve? 5 - Como funciona? 6 - Cuidados Básicos		1 - Desenho da situação original 2 - O que é? 3 - Quais as dificuldades? 4 - Desenho da nova situação. 5 - Qual o ganho com a melhoria?		1 -Desenho do local. 2 - O que é? 3 - O que ocorre? 4 - Qual a influência na qualidade do produto? 5 - Qual é a solução p/ eliminar a inconveniência? 6 - Quais são os equipamentos que devem ser modificados?				

APÊNDICE 2.b)

LPP-SEC-LPP-010: ABERTURA DOS JATOS DA TORRE DE SOPRAGEM.

LIÇÃO PONTO A PONTO					
Tema	ABERTURA DOS JATOS DA TORRE DE SOPRAGEM			Número	010
				Data de Preparação	30/03/2022
Perda	1 - Quebra falha 2 - Set up / Troca / Changeover 3 - Troca de ferramentas 4 - Início e fim de produção / 5 - Chokotei / pequenas paradas 6 - Velocidade reduzida 7 - Defeitos e retrabalhos 9 - Gerenciamento 10 - Mobilidade operacional 11 - Organização da linha 12 - Logística 13 - Medições e ajustes			Linha / Área	TORRE DE SOPRAGEM
				Passo de MA: 1 2 3 4 5 6 7	
Classificação	<input type="checkbox"/> Conhecimento Básico <input checked="" type="checkbox"/> Caso de Melhoria <input type="checkbox"/> Caso Problema	Classificação para arquivo	<input type="checkbox"/> Qualidade <input checked="" type="checkbox"/> Geral Linha <input type="checkbox"/> Equipamentos <input type="checkbox"/> Segurança	Preparado por: Milena Rabêlo	
				Ass.: Carlos Vinicius	
				Data: 30/03/22	
				Supervisor, Área: Admilson E. Santos	
				Ass.: _____	
				Data: 30/03/22	
				Coord. Mec/Qual/Seg: _____	
				Ass.: _____	
				Data: ____ - ____ - ____	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%; border: 2px solid green; border-radius: 20px; padding: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #28a745; color: white; padding: 5px;">CORRETO</p> <div style="display: flex;"> <div style="width: 45%; padding-right: 10px;"> <p>1º PASSO: Abrir todos os 6 jatos superiores primeiro.</p> </div> <div style="width: 55%;"> <p>2º PASSO: Abrir os jatos da parte inferior conforme a sequência abaixo e de acordo com a imagem</p> </div> </div> <p>ORDEM DE ABERTURA DOS JATOS: PRIMEIRO OS JATOS DE CIMA E DEPOIS OS DE BAIXO:</p> <p>6 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 7 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 2 8 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 2 - 8 9 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 2 - 8 - 4 10 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 2 - 8 - 4 - 10 11 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 2 - 8 - 4 - 10 - 6 12 JATOS: 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 2 - 8 - 4 - 10 - 6 - 12</p>  </div> <div style="width: 48%; border: 2px solid red; border-radius: 20px; padding: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #dc3545; color: white; padding: 5px;">ERRADO!</p> <p>Em caso de abrir menos de 12 jatos, não abrir os da parte inferior um do lado do outro, como sugere a imagem!</p> <p>O correto é abrir os jatos do lado oposto, à frente do jato já aberto.</p>  </div> </div>					
<u>Conhecimento Básico</u> 1- Desenho do assunto em questão 2- O que é? 3- Onde se localiza? 4 - Para que serve? 5- Como funciona? 6 - Cuidados Básicos		<u>Caso melhoria</u> 1 - Desenho da situação original 2 - O que é? 3 - Quais as dificuldades? 4 - Desenho das nova situação. 5 - Qual o ganho com a melhoria?		<u>Caso Problema</u> 1 -Desenho do local. 2 - O que é? 3 - O que ocorre? 4 - Qual a influência na qualidade do produto? 5 - Qual é a solução p/ eliminar a inconveniência? 6 - Quais são os equipamentos que devem ser modificados?	

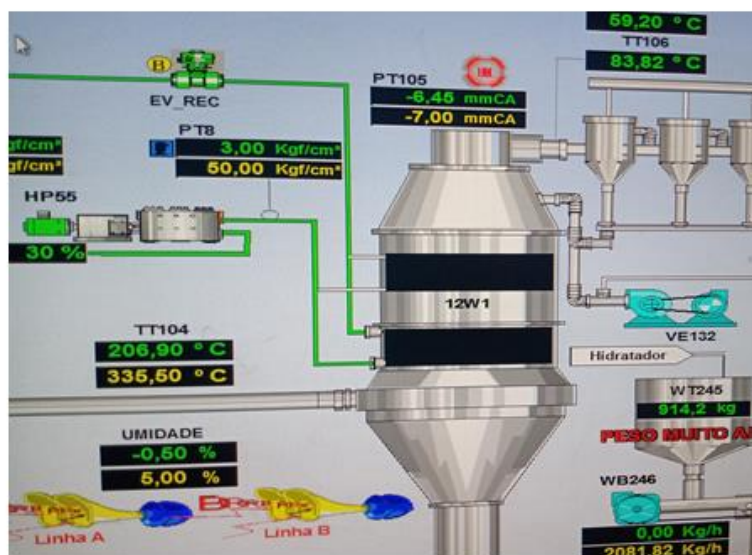
APÊNDICE 3)

LPP-SEC-LPP-003: ABERTURA DOS JATOS DA TORRE DE SOPRAGEM.

LIÇÃO PONTO A PONTO

Tema	ABERTURA DOS JATOS DA TORRE DE SOPRAGEM		Número	03	Data de Preparação	26/01/2022
			Linha / Área	TORRE DE SOPRAGEM	Passo de MA:	
					1	2
					3	4
					5	6
					7	
Perda	1 - Quebra falha 2- Set up / Troca / Changeover 3- Troca de ferramentas		4 - Início e fim de produção / 5- Chokotei / pequenas paradas 6- Velocidade reduzida		7 - Defeitos e retrabalhos 9- Gerenciamento 10 - Mobilidade operacional	
					11 - Organização da linha 12- Logística 13- Medições e ajustes	
Classificação	<input type="checkbox"/>	Conhecimento Básico	Classificação para arquivo	<input type="checkbox"/>	Qualidade	Assinaturas
	<input type="checkbox"/>	Caso de Melhoria		<input type="checkbox"/>	Geral Linha	
	<input type="checkbox"/>	Caso Problema		<input type="checkbox"/>	Equipamentos	
	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	Segurança	
			Preparado por: Milena Rabêlo		Data: 26/01/22	
			Ass.: Supervisor. Área: Admilson E. Santos		Data: 26/01/22	
			Ass.: Coord. Mec/Qual/Seg:		Data: _____	

TEMPERATURA IDEAL PARA ABERTURA DE JATOS NA PARTIDA DA TORRE PARA ECONOMIA DE GÁS E SEGURANÇA



Abriu jatos para início de produção com temperatura de saída da torre em 85° e no máximo 95°.

Conhecimento Básico

- 1- Desenho do assunto em questão
- 2- O que é?
- 3- Onde se localiza?
- 4- Para que serve?
- 5- Como funciona?
- 6- Cuidados Básicos

Caso melhoria

- 1 - Desenho da situação original
- 2 - O que é?
- 3 - Quais as dificuldades?
- 4 - Desenho da nova situação.
- 5 - Qual o ganho com a melhoria?

Caso Problema

- 1 -Desenho do local.
- 2 - O que é?
- 3 - O que ocorre?
- 4 - Qual a influência na qualidade do produto?
- 5 - Qual é a solução p/ eliminar a inconveniência?
- 6 - Quais são os equipamentos que devem ser modificados?