

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

GABRIEL SILVA FERREIRA

**Avaliação de oportunidades de melhorias para elevação da capacidade produtiva
de uma planta de fungicidas**

**Lorena - SP
2020**

GABRIEL SILVA FERREIRA

**Avaliação de oportunidades de melhorias para elevação da capacidade produtiva
de uma planta de fungicidas**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a conclusão da graduação do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Alves Silva

Lorena - SP

2020

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

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

Ferreira, Gabriel Silva
Avaliação de oportunidades de melhorias para
elevação da capacidade produtiva de uma planta de
fungicidas / Gabriel Silva Ferreira; orientador João
Paulo Alves Silva. - Lorena, 2020.
66 p.

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

1. Melhoria de processo. 2. Melhoria de controle.
3. Aumento de rendimento. 4. Tempo de produção. 5.
Volume anual. I. Título. II. Silva, João Paulo Alves,
orient.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a oportunidade de estudar nesta faculdade e conviver nesta comunidade.

Aos meus pais, Edson e Fernanda, e aos meus tios, Fátima e Adilson, além dos familiares que sempre me ajudaram e apoiaram meus projetos, estudos, pesquisas e ideias, desde quando decidi entrar na EEL até o término do curso junto ao meu estágio.

Aos meus amigos que fiz e conheci ao longo do curso, que foram companheiros nas dificuldades e nas vitórias, compartilhando fases e experiências que em muito influenciaram na pessoa que sou hoje. Pessoas que começaram como desconhecidos e terminaram como minha família.

Agradeço com muito carinho ao meu professor e orientador, João Paulo, que além de me supervisionar e apoiar na confecção deste trabalho, também lecionou algumas das matérias que mais me incentivaram a me interessar e a investir em um estágio nessa área de melhoria e otimização, com conhecimento para concluir este projeto na prática e na forma de estudo de caso.

Professores e funcionários da Escola de Engenharia de Lorena, por seis anos vocês me ensinaram muito, me acompanharam e deram suporte por diferentes áreas do conhecimento, com novas visões da química, da indústria e da engenharia. Por todo este tempo e as lições que levarei, meus mais sinceros agradecimentos.

Por último, mas não menos importante, a todos os meus supervisores, gestores e colegas de estágio, que me proporcionaram vivências na indústria, experiência prática no ramo que tanto admiro. Isto me tornou capaz de escrever este trabalho com conhecimento de causa e a maturidade para enxergar como, mesmo o menor dos problemas, pode se tornar a maior das oportunidades.

RESUMO

FERREIRA, G. S. Avaliação de oportunidades de melhorias para elevação da capacidade produtiva de uma planta de fungicidas. 2020. 66 f. Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

A busca por constantes melhorias tem se tornado cada vez mais comum nos setores produtivos e de serviços. Diminuir desperdícios, melhorar sua organização, aumentar sua produção e aprimorar sua produtividade são exemplos frequentemente encontrados. A procura por oportunidades e a implementação de melhorias exige o desenvolvimento de estudos complexos, e por isso é necessária uma equipe dedicada e especializada. Conhecimento, experiência e foco no objetivo do projeto, são as qualidades mínimas para uma equipe de excelência que busque o sucesso da companhia. Frente a essa realidade, este estudo tomou como foco avaliar como um projeto de melhoria é realizado numa grande empresa, junto a uma planta produtora de defensivos agrícolas. Foi apresentado primeiro o passo a passo realizado pela equipe de consultores junto à origem da extração dos dados do processo que serviram de parâmetro para o desenvolvimento das propostas de medidas de melhorias. A partir dessa exposição cada medida foi tratada individualmente e explanada quanto às suas razões e formas de aplicação, para justificar como se obteve a estimativa de seus retornos produtivos. Medidas que buscam reduzir atrasos, desperdícios e tempos gastos com procedimentos não otimizados, através da troca de leitores, adaptação de sistema para trabalhar com maior vazão, alterar procedimentos como de alimentação sequencial para uma paralela, além das que busquem melhorar o controle das variáveis de produção, através de automações e melhoria no sistema de acompanhamento de produção. Estas foram as mudanças essenciais propostas a dois equipamentos de maior relevância, o limitante do processo, responsável pela emulsão, e um possível novo limitante, o moinho. O reator de emulsão apresentou uma capacidade de melhoria de 19,3% em sua produção anual total, enquanto o moinho se demonstrou apto a economizar aproximadamente 21% de seu tempo de trabalho com medidas simples. Este estudo foi seguido da conclusão de que este projeto se demonstra eficaz a curto prazo e representa uma oportunidade para ampliações maiores. A expectativa de aumento de demanda em 100% da produção aos anos seguintes necessita de alterações de grande porte e suporte para estas serem realizadas, porém as medidas rápidas podem vir atender até um quinto dessa demanda, como mostrado no projeto. A demanda continuará existindo, mas com essas medidas, a empresa terá tempo e suporte, para se investir em novos sistemas, equipamentos ou modificações de grande porte para as restantes necessidades, demonstrando a eficácia de um projeto de melhoria para a eficiência e qualidade no desenvolvimento das empresas.

Palavras-chave: melhoria de processo, melhoria de controle, aumento de rendimento, tempo de produção, volume anual.

ABSTRACT

FERREIRA, G. S. Evaluation of improvement opportunities to increase productivity capacity in a fungicide plant. 2020. 66 f. Course conclusion paper – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

The pursuit for continuous improvement has become even more common in the productive and service's sectors. Reducing wastes, optimizing organization, increasing production, and improving productivity, these are examples frequently found nowadays. The search for opportunities and improvement implementation demands the development of complex studies, therefore it is needed a specialized and dedicated team. Knowledge, experience and focus on the project's objective are the minimal qualities for an excellence team that aims the company's success. Faced with this reality, this study focused on how an improvement project is executed in a great company, inside a fungicide producing plant. Firstly, it was shown the "step by step" performed by the consulting team such as the process data's extraction origins which were used as parameters to develop the improvement measures proposed. From this data presented, each measure was discussed individually and had its reason and application detailed, justifying how the productive benefits were estimated. Measures aiming to reduce delays, wastes and time spent with non-optimized procedures, through the changes in readers, system upgrade to work with higher flow, altering procedures such as sequential feeding by a parallel one, beyond those that seek to improve the production's variables control by automations and production's system improvement. These were essential changes proposed to two equipment with greater relevance, process limiting, accountable for the emulsion, and a probable new limiting, the mill. The emulsion reactor demonstrated an improve of 19,3% in its total annual production, while the mill proved able to save almost 21% from its occupation with simple measures. This study concluded that the project has proved to be effective in short term and implies an opportunity for further and greater extensions. The expectation of a demand's increase of 100% in the production for the next years needs greater modifications and support to be done, but the quick measures may fulfill nearly a fifth from this demand, such as demonstrated in the project. The demand will keep existing, but with these changes the company will have time and support to invest in new systems, equipment and greater modifications to reach the remaining necessities, showing the efficacy of a improvement project for the efficiency and quality in enterprise's development.

Key words: process improvement, control improvement, yield increase, time production, annual volume.

Lista de Figuras

Figura 1 – Diagrama de processo da planta de produção de fungicida.....	12
Figura 2 – Diagrama das etapas de revolução industrial ao longo do tempo e suas principais características.....	17
Figura 3 – Diagrama da interação entre pessoas, serviços e setores dentro de uma cadeia de valor.....	19
Figura 4 – Esquema de um moinho vibratório e seus componentes	21
Figura 5 – Visão cortada de um moinho de atrito.....	22
Figura 6 – Visões frontal e lateral de um moinho de esferas.....	22
Figura 7 – Exemplos do efeito das possíveis acelerações de rotação do recipiente de um moinho de esferas nas esferas e particulados em seu interior.....	23
Figura 8 – Strobilurus tenacellus	28
Figura 9 – Atuação da estrobilurina na inibição da cadeia respiratória do fungo.....	29
Figura 10 – Sete etapas do processo mental de elaboração de ideias	30
Figura 11 - Estratificação das categorias de utilização de tempo no funcionamento de uma produção par ao cálculo de OEE.....	32

Lista de Quadros

Quadro 1 – Relação dos tipos de moinhos e suas características de trabalho	21
Quadro 2 – Exemplos de agentes emulsificantes e suas características.....	26
Quadro 3 – Duração em que cada equipamento da planta esteve ocupado com uma carga durante uma campanha de processo	35
Quadro 4 – Tempo médio de ocupação do reator de emulsão e do moinho de moagem em uso ininterrupto de produção sequencial.	38
Quadro 5 – Sequenciamento da alimentação de água, matéria prima e dispersantes para o início de operação no reator R-101	48
Quadro 6 - Comparativo visual do tempo de ocupação de equipamento antes e após a aplicação das medidas de otimização	60

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 1	40
Tabela 2 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 1	41
Tabela 3 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 2	41
Tabela 4 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 2	42
Tabela 5 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 3	43
Tabela 6 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 3	43
Tabela 7 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 4	44
Tabela 8 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 4	44
Tabela 9 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 5	45
Tabela 10 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 5	45
Tabela 11 - Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 6	46
Tabela 12 - Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 6	46
Tabela 13 - Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 7	47
Tabela 14 - Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 7	47
Tabela 15 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 8	49
Tabela 16 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 8	49
Tabela 17 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 9	50
Tabela 18 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 9	50
Tabela 19 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 10	51
Tabela 20 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 10	51
Tabela 21 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 11	51
Tabela 22 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 10	52

Tabela 23 – Resumo dos efeitos das medidas de maneira coletiva na produção total anual e eficiência produtiva da planta de fungicida	53
Tabela 24 – Resumo dos efeitos das medidas de melhoria, propostas ao R-101, sob o tempo total de ciclo de operação.....	54
Tabela 25 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 11.....	56
Tabela 26 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 12.....	57
Tabela 27 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 13.....	58
Tabela 28 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 14.....	58
Tabela 29 – Resumo dos impactos da Medidas propostas 11, 12 e 13 sob o tempo total do ciclo de operação do moinho Z-102	59
Tabela 30 – Impacto da Medida 14 sob o processo previamente otimizado com as medidas 11, 12 e 13 para a melhoria do tempo de ciclo do moinho Z-102	59
Tabela 31 - Diferença entre a ocupação dos respectivos equipamentos antes e depois da otimização pelas medidas propostas	61

Lista de Siglas

R-101	Reator de identificação 101
Z-101	Bomba/Moinho de identificação 101
Z-102	Moinho de esferas de identificação 102
B-101	Tanque de identificação 101
B-102	Tanque de identificação 102
TI	Tecnologia da Informação
CLP	Controlador Lógico Programável
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
Ageitec	Agência Embrapa de Informação e Tecnologia
A/O	Água em Óleo
O/A	Óleo em Água
PIMS	Sistema de Gerenciamento de Informação da Produção
AE	Eficiência de Equipamento
UL	Perdas Inesperadas
SL	Perdas Programadas
BO	Oportunidades de Negócio

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Contextualização.....	11
1.2	Objetivo geral	16
1.3	Objetivo específico.....	16
2	Revisão bibliográfica	17
2.1	Evolução da indústria.....	17
2.2	Etapas de processamento: Moagem, adensamento, emulsão.....	20
2.3	Fungicidas	27
2.4	Melhoria Contínua	29
2.5	Eficiência Global de Equipamento.....	31
3	Metodologia	34
3.1	Estudo analítico	34
3.2	Acompanhamento em campo	36
3.3	Elaboração de oportunidade	37
4	Resultados e Discussão	38
4.1	Dispersão/Emulsão	39
4.1.1	Medida 1 – Aplicação de sistema de gestão visual.....	39
4.1.2	Medida 2 – Organizações e trocas de turno	41
4.1.3	Medida 3 – Elaboração de plano de ação para problema no “Banco-Maria” ..	42
4.1.4	Medida 4 – Aprimoramento da gestão de manutenção preventiva dos trocadores de calor	43
4.1.5	Medida 5 – Sistema de monitoramento mais estável.....	44
4.1.6	Medida 6 – Reduzir tempo de abastecimento de água no R-101	46
4.1.7	Medida 7 – Sistema de alimentação de água pré-aquecida ao reator R-101 ..	46
4.1.8	Medida 8 – Alimentação paralela de água e matérias primas	48
4.1.9	Medida 9 – Troca de estado físico de matéria prima	49
4.1.10	Medida 10 – Início do resfriamento no momento de amostragem.....	50
4.1.11	Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102.....	51
4.1.12	Efeito das medidas – Dispersão/Emulsão	52
4.2	Moagem.....	55
4.2.1	Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102.....	56
4.2.2	Medida 12 – Aprimorar rampa de rotação do moinho	56
4.2.3	Medida 13 – Redução do tempo de transferência do moinho para tanque ..	57
4.2.4	Medida 14 – Implementação de um moinho auxiliar.....	58

4.2.5	Efeito das medidas – Moagem	59
4.3	Comparação do tempo de ocupação antes e depois das melhorias.....	60
5	Conclusão	62
	Referências	64

1 Introdução

1.1 Contextualização

Vivenciando cenários competitivos cada vez mais acirrados entre empresas e produtos, onde o diferencial gerado pelo nome e história de um grupo perdeu forças, a busca pela melhoria contínua a fim de se destacar no mercado tornou-se mais constante além de um fator chave para o sucesso de um negócio.

Tendo sido desenvolvida ao longo da revolução industrial, a indústria química se baseia na manipulação de matérias-primas com processos físicos e químicos para se agregar maior valor a elas e então comercializá-las, em paralelo processos produtivos são metodologias estabelecidas no dimensionamento de uma planta e tendem a não sofrer modificações de aumento de capacidade, apenas manutenções corretivas, sendo constantemente limitadas aos seus estados funcionais.

Frente a uma nova demanda e para que não se perca seu local conquistado no mercado, a empresa estudada nesse processo investiu numa equipe interna de consultoria em excelência operacional, focada em analisar processos e desenvolvê-los a fim de encontrar abertura para aumento ou recuperação de capacidade na produção de sua planta.

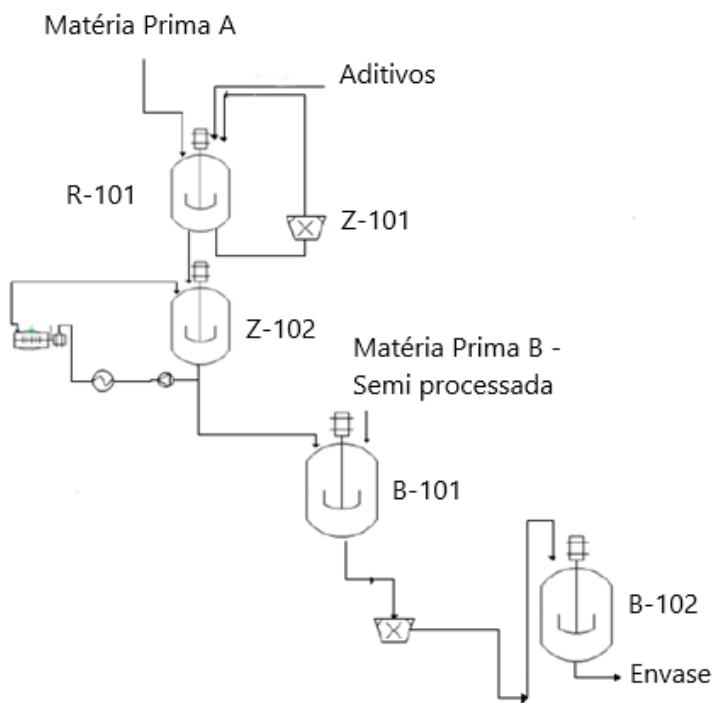
A planta analisada é responsável por uma produção de fungicida em larga escala. Até recentemente, ela dividia sua meta de produção com outra localidade que gerava parcela desse produto, porém ainda se mantinha como a sede principal responsável por isso, com uma produção anual de 4,51 milhões de litros por ano, enquanto a filial auxiliar era responsável por 1,89 milhões de litros por ano.

Esta estrutura de produção se mostrou suficiente às demandas existentes até então, porém a planta teria de se adequar a duas mudanças que vigorariam nos anos que se seguiriam. A primeira é que, essa planta da outra localidade que era responsável por, aproximadamente, 30% da produção anual de fungicida demandado, deixaria de atender a essa produção de fungicida para completar a demanda atual, por decisões estratégicas, e a segunda é que, havia um plano de 10 anos de desenvolvimento que prevê o aumento na demanda desse produto em 100% referente à quantia atual produzida pela planta principal em função da expectativa de crescimento do mercado por parte da empresa.

Sob esse novo cenário, o gerente da planta decidiu por contratar uma consultoria interna de melhoria industrial. Sua finalidade era de encontrar formas de se aumentar a capacidade produtiva de maneira simples e com ganho rápido, para começar a atender ao aumento da demanda, enquanto possibilitasse à planta tempo e condição para realizar mudanças de maior grandeza que viriam a ser necessárias e demorariam mais para dar retorno.

O sistema de produção deste fungicida se baseia em duas matérias primas, um princípio ativo fungicida, do grupo químico Estrobilurina (Matéria Prima A) e o material que caracterizará aplicação final do produto (Matéria Prima B), estes serão submetidos a uma linha de produção que consiste em três etapas principais, sendo elas a etapa de emulsão, a etapa de moagem e a etapa de adensamento, para depois o produto final ser estocado no que chama-se de tanque pulmão, com única e exclusiva função de armazenamento, como demonstrado na Figura 1. Além desta linha principal, existem processos paralelos que ocorrem com a Matéria Prima B a caracterizando para posterior junção com a Matéria Prima A e formação do produto final, porém como a linha percorrida pela Matéria Prima A é a de maior interesse, o estudo será focado nela.

Figura 1 – Diagrama de processo da planta de produção de fungicida



Fonte: Próprio autor

A etapa de emulsão, que se dá num reator R-101, é onde ocorre a adição das matérias primas, acondicionamento às condições de trabalho e emulsificação. Nesta planta ela é líquida, ou seja, faz uso do meio aquoso para trabalhar com os materiais envolvidos ao invés de se trabalhar com sólidos e outros tipos de particulados.

Primeiramente é adicionado a água ao reator, via SDCD, ambiente o qual será aquecido até 33,75 °C, para não haver grande interferência na temperatura dos outros materiais a serem adicionados. Ao se atingir uma condição de trabalho de menor desvio, adiciona-se o componente dispersante, via SDCD, e o componente antiespumante, via boca de visita, pois como a Matéria Prima A (ainda a ser adicionada) é um componente viscoso, é necessário o auxílio de um agente dispersante para que ocorra a emulsão, já o antiespumante serve para evitar a formação de espuma durante a agitação do reator, essa espuma que viria a ser formada na ausência desse composto implicaria em ocupação do volume do reator com tal composto, o que poderia gerar perda de capacidade e atrapalhar o controle dessa operação.

Com todos os componentes iniciais adicionados ao reator, inicia-se um novo aquecimento até 81 °C e se acrescenta a Matéria Prima A, para que se ocorra a emulsão, mantendo uma supervisão sob a temperatura de processo para que não sejam ultrapassados os 94,5 °C. Em paralelo a essa manutenção dos 81 °C, dá-se início ao funcionamento de uma Bomba-Moinho, Z-101, que começa a funcionar junto do reator de emulsão e promove uma recirculação de parte da corrente para aumentar o rendimento do processo.

Quando a temperatura torna a atingir 81°C, adiciona-se mais Matéria Prima A junto de um Aditivo A, mas em estado fundido, e desliga-se a recirculação proveniente do Z-101 e retira-se uma amostra para testar o tamanho da partícula formada a partir da emulsão.

Quando o tamanho da partícula for aprovada, o sistema é desligado por completo e se inicia uma etapa de resfriamento para que o sistema retorne à temperatura de 33,75 °C, fazendo uso de água gelada até que se atinja 39,15 °C e, a partir daí, água de um trocador de calor do sistema até que se chegue na temperatura desejada.

Ao se estabilizar a temperatura do sistema, essa massa reacional é enviada para o moinho de esferas, Z-102, que deve iniciar sua atuação com o sistema a uma temperatura inferior a 30 °C, portanto abrem-se válvulas manuais de água de refrigeração para acondicionar o ambiente de trabalho.

A dosagem gradativa do material proveniente do reator R-101, é feita sob comando manual do operador responsável pela sala de controle, a regulando de acordo com as condições do sistema, de temperatura e pressão. Ao terminar a moagem, dá-se início ao funcionamento do moinho com a regulagem da taxa de rotação por minuto (RPM) do equipamento e mantendo um controle constante da temperatura do meio para que este não passe de 51,3 °C (valor definido pelo SDCD como limite para intertravamento). Esse sistema se mantém em recirculação, passando de um tanque de armazenamento ao moinho, por um período de mínimo de 5,4 horas (h) ou até que se atinja as especificações mínimas de tamanho de partícula.

A empresa adotou três critérios para avaliar o tamanho da partícula do material moído e ele é julgado coletando amostras que serão direcionadas ao laboratório da planta para análise. Frente ao resultado dessa análise que se determina se o material continua submetido a esse ciclo de moagem ou se pode ser direcionado ao restante do processamento. A primeira amostra é retirada no tempo mínimo de processo, 5,4 h após o início da moagem, independentemente deste resultado, são realizadas duas novas amostragens ao longo do procedimento, com diferença de algumas horas de processo entre elas, para garantir o tamanho esperado.

Ao se comprovar o término da moagem, desliga-se o sistema de resfriamento que acondicionava a temperatura do sistema e, através da sala de controle, é realizada a transferência do conteúdo do Z-102 para o equipamento onde ocorrerá o adensamento da massa, ou seja, tanque de adensamento B-101.

Ao terminada a transferência da base moída para o B-101, o operador inicia uma agitação no equipamento através do controle manual via SDCD em um RPM pré-definido pela especificação de processo. Enquanto o conteúdo fica sob essa ação de mistura, a massa adensada é gradativamente transferida para o tanque pulmão B-102 com o auxílio de um sistema de bombas e de um meio filtrante na tubulação de passagem entre os tanques, após a total transferência do conteúdo gerado a partir da Matéria Prima A, uma Matéria Prima B é adicionada ao B-101 para passar pelas mesmas etapas de processo e também ser transferido gradativamente ao tanque B-102. Neste tanque pulmão será mantida uma leve agitação, constante, por 1h para que se dê a mistura das duas partes, será realizada uma “amostragem de Lote Completo” e posteriormente esse produto final será destinado ao envase.

Uma produção de tamanha magnitude e de uma grande empresa acarretam uma grande complexidade, envolvendo diversas etapas e processos que possuem suas oportunidades e particularidades. Frente a isso, foi necessário um estudo detalhado do projeto, das condições de trabalho atuais e de como estas poderiam ser aprimoradas para que se atendam às demandas esperadas, entregando, por fim, um pacote de propostas de medidas a serem aplicadas no sistema em questão, tal como suas implicações produtivas.

Este estudo de caso visou agir como uma forma de se julgar se o esforço, análise e tempo investido com alterações na rotina, suporte e compartilhamento de informação são ou não justificáveis a esta e outras empresas. Tem-se ciência que cada planta ou processo são únicos por si só, porém quando se é possível obter um benefício significativo em sua produção com um projeto de medidas simples e de rápido retorno, as avaliações de outros processos que possam ser submetidos aos mesmos tipos de análises e estudos se tornam mais favoráveis. Sendo assim, ao se provar a eficácia de tal projeto, incentiva-se o investimento em melhoria contínua e nos diferenciais que são trazidos ao se deparar com novas demandas, mudanças de processo ou com a necessidade de suporte para mudanças de maior escala na companhia.

1.2 Objetivo geral

O objetivo deste estudo de caso é analisar as etapas decorrentes de um projeto de melhoria contínua em uma indústria química para ampliação de sua capacidade produtiva e avaliar o impacto das medidas propostas e estimadas para com a meta da empresa.

1.3 Objetivo específico

Este trabalho tem como objetivo, a partir da descrição das metodologias de coleta de dados e observações realizadas sobre as condições de produção:

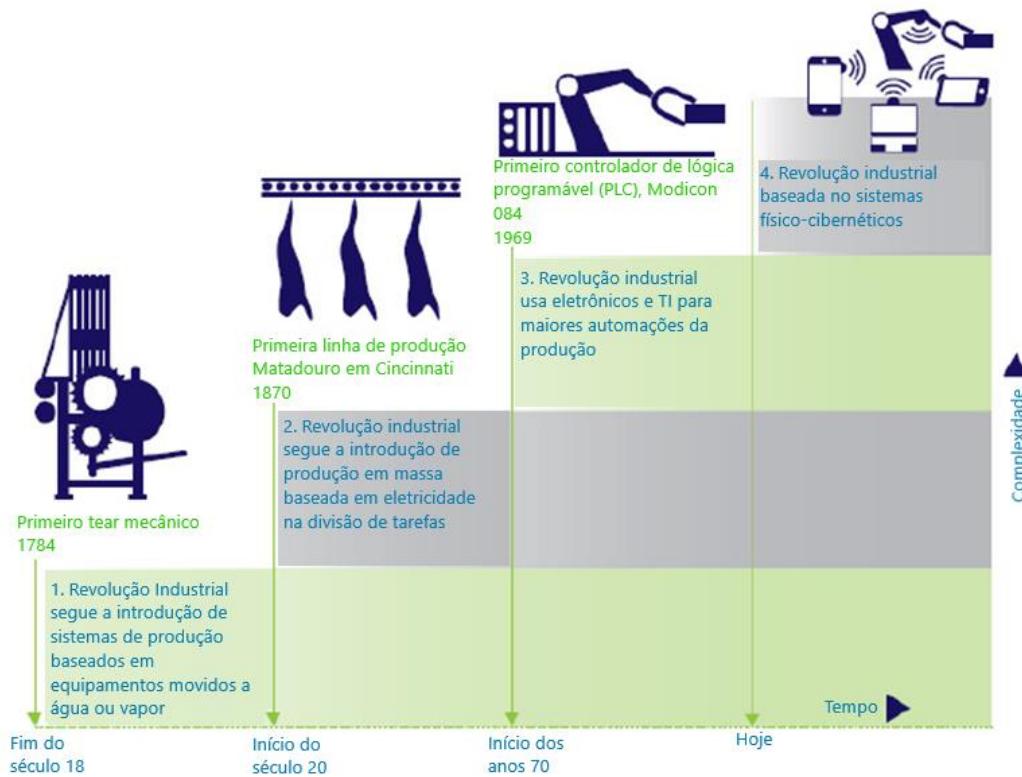
- Analisar a forma com que as propostas de melhoria foram elaboradas.
- Explicar o raciocínio por trás das abordagens recomendadas para aumentar o benefício da produção.
- Apresentar os cálculos, as origens dos ganhos na produção e as considerações que devem ser feitas a cada ação em sua aplicação ou para a obtenção de seu benefício na forma de alteração na produção anual da planta industrial ou no tempo de operação.
- Avaliar a eficácia das abordagens empregadas, para dar suporte ao plano de 10 anos da companhia, e suas implicações para o progresso da empresa.
- Avaliar o benefício de um projeto de melhoria contínua à indústria.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Evolução da indústria

A origem e evolução da indústria no mundo sempre acarretou mudanças técnicas e sociais, fosse aperfeiçoando um processo, interligando operações, inserindo novas tecnologias e gerando mais ou menos empregos. São reconhecidas 4 grandes revoluções industriais caracterizadas por mudanças significativas na indústria e em seu crescimento, como representado na Figura 2. (AZEVEDO, 2017)

Figura 2 – Diagrama das etapas de revolução industrial ao longo do tempo e suas principais características



Fonte: Adaptado de Azevedo, 2017.

A primeira revolução industrial se deu entre o final do século XVIII e início do século XIX e sua principal característica consistia na substituição da manufatura, ou seja, o trabalho manual, pela introdução de maquinários que executassem a mesma função, com maior facilidade, velocidade e estabilidade, coisas dificilmente alcançadas pelo homem. (AZEVEDO, 2017)

Uma das primeiras implementações desse processo se deu na indústria de tecelagem, com o uso de teares. Porém, além disso, também se passaram a explorar outras formas de

energia e locomoção, sendo o primeiro representado pelo uso do carvão como combustível e das locomotivas a vapor para transporte. (AZEVEDO, 2017)

A segunda revolução, ocorrida no século XIX, consistiu no descobrimento de novas fontes de energia e de sua aplicabilidade, tanto no campo industrial, como no campo da pesquisa, que seriam a eletricidade e o petróleo. Foi um período em que desenvolveu-se o motor à combustão, viu-se a vantagem da luz como fonte de energia no lugar do vapor e, principalmente, detectou-se a oportunidade de reduzir custo além de aumentar a produção, evento de grande importância à indústria, pois já demonstra sua busca por melhoria constante desde seus primórdios.

Duas grandes ideologias que surgiram com a segunda revolução industrial foram o “Fordismo”, que consistia na organização dos operadores em uma linha de produção em que cada indivíduo ficaria a cargo de uma única etapa e naquela única posição, sem ter de se deslocar a cada instante para um novo produto, e o “Taylorismo”, de forma análoga, introduziu a divisão completa de tarefas, onde cada operador era responsável por uma única etapa da produção, sem necessitar ter ciência das etapas seguintes que haveriam de vir. (AZEVEDO, 2017)

Enquanto a principal contribuição da primeira revolução industrial foi a inserção de maquinários para substituir, e da segunda revolução foi o uso de novas formas de geração de energia e busca por melhoria contínua, a terceira revolução industrial, de acordo com Azevedo (2017), ficou conhecida como a fase digital, fazendo grande uso de serviços de tecnologia da informação (TI) e equipamentos eletrônicos.

A terceira revolução industrial se deu a partir do século XX e trouxe consigo o conceito de sistemas de controle, onde haveria uma interação entre máquina e sistema, através de uma interface única de processo. A criação desta interface busca auxiliar os processos a terem uma maior qualidade, eficiência e precisão, uma vez que permite a comunicação e transmissão de dados cada vez mais rápido, de acordo com o desenvolvimento da tecnologia, um exemplo desses sistemas que permite isso é o Controlador Lógico Programável (CLP), que, de acordo com PUPO (2002), atua através de uma lógica digital transmitindo dados provenientes de um sensor a um atuador, um instrumento capaz de dispor as informações e influir numa alteração na variável de processo.

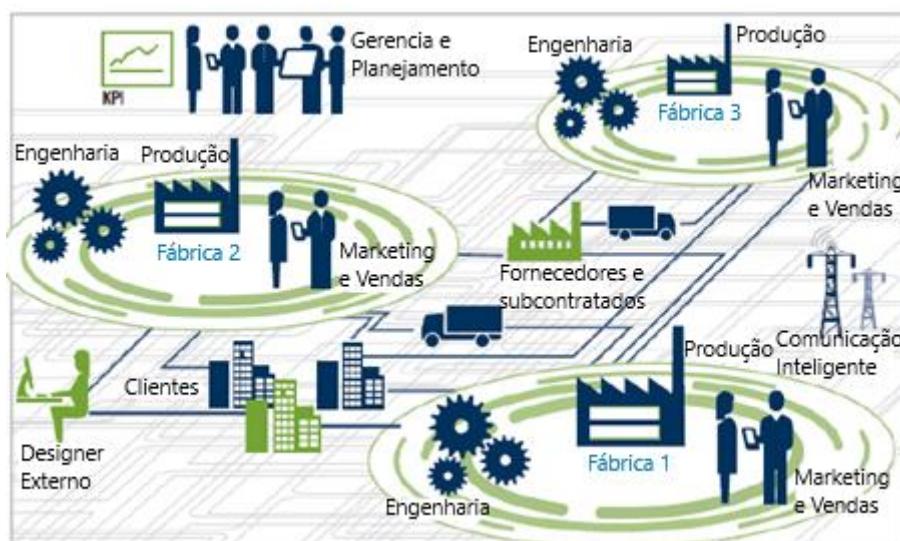
A partir do CLP surgiu o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), que consiste num sistema de gerenciamento de produção que se comunica com os equipamentos

de campo, coletando dados e os redistribuindo aos usuários responsáveis, porém, enquanto o CLP transmitia o dado para que o operador atuasse diretamente na alteração do processo, através do SDCD é possível que o usuário execute alterações por meio do sistema de controle, de forma mais prática. Ele funciona em cinco níveis, controladores, que alteram as variáveis de processo, módulos de entrada e saída, responsáveis pela comunicação sistema-equipamento, o software, que interpretará os dados recebidos para gerar a resposta, e a sala de controle, área onde se localizam os equipamentos e controladores. (ADHANE; KIM, 2017)

A quarta revolução industrial ainda está em andamento tomando como partida a sistemática obtida com a terceira revolução industrial, que intercomunica instrumentos e indivíduos numa planta ou sistema produtivo. Porém, possui a grande diferença de transmitir informações sem precisar de um meio físico de transmissão, fazendo uso das redes digitais sem fio como a internet, prática também chamada de Smart Factory, de acordo com Kagermann, Wahlster e Helbig (2013).

De acordo com Azevedo (2017), a “Indústria 4.0”, que seria a indústria sob influência da mudanças da quarta revolução industrial, visa melhorar a cadeia de valor, como mostrado na Figura 3, potencial econômico, integrando os diferentes níveis da rede de valores, inserção da digitalização por toda cadeia produtiva e uma comunicação do sistema de manufatura através da rede, aperfeiçoando ainda mais o controle sobre as etapas de transformação de interesse e a qualidade de seus produtos finais.

Figura 3 – Diagrama da interação entre pessoas, serviços e setores dentro de uma cadeia de valor



Fonte: Adaptado de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013).

2.2 Etapas de processamento: Moagem, adensamento, emulsão

Etapas de transformação dizem respeito aos processos e operações unitárias às quais a matéria prima bruta, semiprocessada ou processada é sujeita a fim de modificar sua estrutura, sendo de maneira física ou maneira química. De acordo com Shreve e Brink (1997) de maneira genérica, “processo” é interpretado como uma sequência lógica de atividades que modificam um material e agregam valor a ele, porém para a indústria química, processo ou processamento, é tido como as etapas de transformação química às quais um produto está sujeito, a fim de agregar maior valor a ele ou destiná-lo a um uso, como processos de emulsão e adensamento. Em contrapartida, uma operação unitária é definida por Cremasco (2012) como um tratamento de natureza física, em que apenas a estrutura física do material é alterada, tal como operações de filtração e moagem.

A moagem é uma operação unitária importante em diversos tipos de indústria, pois ela promove a redução do tamanho das partículas de um material de interesse, aumentando assim a sua área de contato superficial e obter assim, de acordo com Ribeiro e Abrantes (2001), maior velocidade de reação, uma mistura mais uniforme de materiais e adequação da matéria a condições ideais de trabalho, como o pó para formulação de corantes.

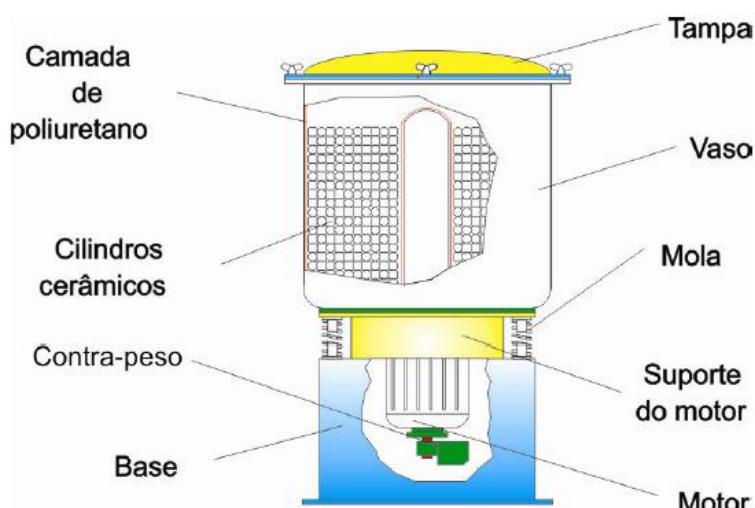
De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), a escolha do tipo de moinho a ser utilizado é dependente do tipo de matéria que será processada (composição, tamanho, textura) e do tamanho final de partícula desejada. Além dos fatores mencionados pela AGEITEC, a diferença entre um tipo de moinho e outro se evidencia pelo elemento de atrito que realizará a redução do tamanho da partícula e pelo ambiente em que ela trabalhará, como mostrado no Quadro 1, sendo, segundo Carvalho (2007), os moinhos vibratórios, Figura 4, o de atrito, Figura 5, e de esferas, Figura 6, os mais comumente encontrados.

Quadro 1 – Relação dos tipos de moinhos e suas características de trabalho

Moinho Esforço	Pressão	Arraste	Impacto	Choque	Granulometria	Ambiente
Moinhos com Meio Moedor						
a) Moinhos cilíndricos		X	X		Fina	Seco/úmido
b) Moinhos vibratórios		X	X		Fina	Seco/úmido
c) Moinhos planetários	X	X			Ultrafina	Seco/úmido
d) Moinhos de atrito		X			Ultrafina	Úmido
Moinhos de Choque						
1. Moinhos com rotor				X	Fina	Seco
a) Moinhos universais				X	Ultrafina	Seco
b) Moinhos de pinos				X	Ultrafina	Seco
c) Moinhos de rotor				X	Ultrafina	Seco
2. Moinhos a jato				X	Ultrafina	Seco
a) Oval				X	Ultrafina	Seco
b) Espiral				X	Ultrafina	Seco
c) Contra fluxo				X	Ultrafina	Seco
Moinhos de Rolos Verticais	X	X			Fina	Seco
Moinhos de R. de Alta Pressão	X				Fina	Seco

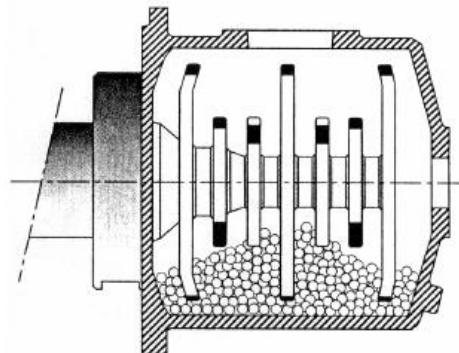
Fonte: Carvalho, 2007.

Figura 4 – Esquema de um moinho vibratório e seus componentes



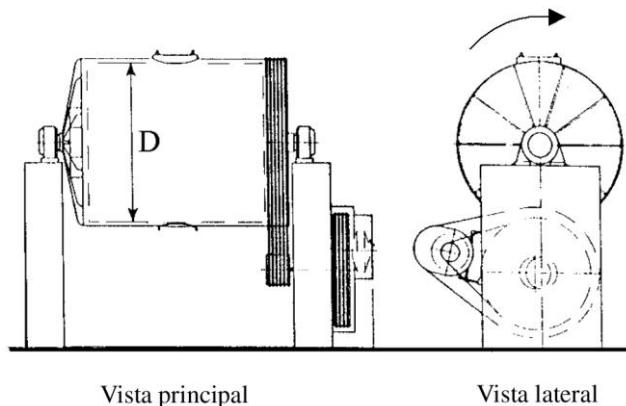
Fonte: Carvalho, 2007.

Figura 5 – Visão cortada de um moinho de atrito



Fonte: Carvalho, 2007.

Figura 6 – Visões frontal e lateral de um moinho de esferas



Fonte: Ribeiro e Abrantes, 2001.

O conteúdo a ser submetido à moagem interfere no tipo do moinho de forma a determinar se o mesmo deverá trabalhar em meio seco ou úmido. (CARVALHO, 2007)

Ainda por Carvalho (2007), é dito que a moagem a úmido é gerada uma suspensão com a adição de um líquido ao ambiente, este é determinado com base na reatividade química com os elementos do moinho, jarro/recipiente, elemento que executará a moagem (rolo, esferas), etc, sendo necessário também ter ciência da viscosidade do meio, que interfere diretamente tanto na durabilidade do equipamento e suas partes, quanto na qualidade da moagem e calor gerado pelo atrito.

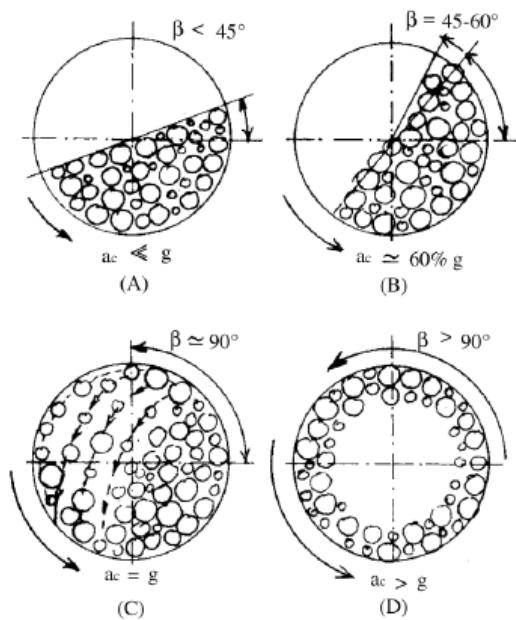
Na moagem a seco os elementos envolvidos consistem apenas nos elementos de moagem, os materiais a serem reduzidos e possíveis aditivos ou lubrificantes que possam vir a ser adicionados para agregar valor ou facilitar a operação. Uma consideração feita por Carvalho (2007) é que há um problema inerente a esse processo que é geração de um maior atrito, o qual induz a um maior desgaste dos componentes envolvidos, porém apresenta a

vantagem de não necessitar uma etapa extra de secagem ao longo do processo o torna uma operação mais rápida do que pela via úmida.

Para o estudo em questão, o moinho de esferas ou “moinho de bolas” é mais relevante, este é composto por um cilindro oco, que é forrado internamente por materiais duros ou de borracha que evitem danos ao cilindro durante sua utilização, preenchido com esferas (de material a ser definido de acordo com o processo ou conteúdo a ser moído) e um eixo horizontal, sob o qual será exercida uma forma de rotação pra gerar o movimento do moinho. (CARVALHO, 2007; ABRANTES; RIBEIRO, 2001)

O efeito de redução de tamanho de partícula se dá graças ao cisalhamento gerado pelo atrito das esferas no momento que o eixo (CARVALHO, 2007). A aceleração da rotação do moinho possui impacto direto sob a eficiência do processo e, paralelamente, ao desgaste de seu material, pois à medida que a rotação aumenta, mais violenta é a movimentação do sistema. Como visto na Figura 7, enquanto houver uma aceleração de até 60% a da gravidade, as esferas não realizarão um loop completo junto ao movimento da do cilindro, resultando assim numa “queda” de umas sob as outras, implicando no atrito que reduz o tamanho das partículas, porém, se a aceleração se iguala à gravidade ou a supera, as bolas continuarão o movimento junto ao cilindro e reduzirão drasticamente seus atritos, deixando de haver o processo de moagem. (ABRANTES; RIBEIRO, 2001)

Figura 7 – Exemplos do efeito das possíveis acelerações de rotação do recipiente de um moinho de esferas nas esferas e particulados em seu interior



Fonte: Abrantes e Ribeiro, 2001.

Bergerman (2013) afirma que essa limitação de rotação implica numa baixa eficiência na ação de moagem fina, pois não possui atritos o suficiente com elementos grandes como os tamanhos mínimos de esfera e, em paralelo, possíveis reduções do tamanho das esferas ainda não seriam suficiente para que se ocorresse a geração da energia necessária para romper e reduzir mais os particulados, tornando o equipamento inapto a realizar moagens finas ou ultrafinas e mais aplicável a situações de maior vazão ou de produtos grosseiros em moagens a úmido.

Outra limitação à qual o processo de moagem com esferas está sujeito é no controle de temperatura. Como esse processo se baseia no princípio de colisão entre as esferas e das esferas para com as partículas, cada choque gera uma taxa de calor, o que implica num aumento de temperatura do sistema, fator esse que precisa ser monitorado de acordo com o material que for submetido à operação. Uma vez que alguns materiais possuem limites de temperatura máxima para que não sejam degradados ou até que não sofram reações paralelas com o excesso de energia fornecido, deve ser realizado um estudo dos componentes envolvidos nessa operação e regular-se o sistema para que se previnam picos de calor ou outros problemas inerentes do processo. (BERGERMAN, 2013)

Emulsão é definida de forma geral por Castro (2014) como uma mistura de dois líquidos imiscíveis, sendo um deles caracterizado como fase contínua, por se manter fluidizado, e o outro caracterizado por uma dispersão do líquido na forma de gotículas pela extensão da fase contínua sem padrão, formando um sistema de mistura heterogênea.

Uma dificuldade de se trabalhar com uma emulsão, é que são termodinamicamente instáveis, Farjami e Madadlou (2019) explicam que esse tipo de sistema tende a desfazer a dispersão e voltar a se organizar como duas fases separadas sem interação entre si. Segundo Castro (2014) é possível fazer uso de componentes auxiliares para se lidar com essa instabilidade, tal como um agente emulsivo, que tem a finalidade de formar uma película entre os líquidos imiscíveis e, com isso, retardar a separação de fases que seria induzida pelo encontro delas.

Por haver essa instabilidade no produto, é necessária uma grande quantidade de energia para que esse processo seja executado e obtenha-se uma emulsão, energia na maioria das vezes gerada a partir de energia mecânica, por exemplo, na indústria ela é muitas vezes executada num reator com agitador, o qual possui uma taxa de RPM pré-definida por um

processo ou sistema, de forma a produzir a energia especificamente a aquela linha. (CASTRO, 2014)

As emulsões são compostas por uma parte hidrofílica, que “atrai” a água, possui interação com ela, e uma parte hidrofóbica, que “repele” a água, ou seja, não interage com ela, considerando isso, Zanon (2010) explica que, dependendo do tipo no qual se encaixar a fase dispersante, os sistemas podem vir a ser classificados como óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O), diferenciando-se assim em qual a parte líquida da mistura, uma polar ou apolar. Eloisa Mano (2004) define o processo de emulsão O/A como modelo clássico de emulsão, porém, para situações como na polimerização em emulsão de alguns compostos, é mais interessante usar a ordem inversa A/O, que se utiliza monômeros especiais miscíveis com a água.

Como Farjami e Madadlou (2019) exemplificam ao mencionar o uso de um hidrogel para estabilizar uma emulsão ao se aproveitar da capacidade dele imobilizar gotículas de dispersão, existem diversas formas que de se lidar com a instabilidade inerente dessa reação, sendo a maioria delas com a utilização de aditivos ao processo que providenciarão ao composto estruturas mais estáveis ou resistentes a diferentes tipos de meio. Dentre alguns desses aditivos pode-se ressaltar os agentes emulsionantes ou emulsificantes, conservantes, antioxidantes, dentre outros componentes, os quais são escolhidos de acordo com as características do material manipulado e de suas propriedades.

Emulsificantes são compostos que atuam sob a tensão superficial do meio, evitando a coalescência das partículas, evitando que as partículas dispersas sob o líquido voltem a interagir entre si e se separem por completo em duas fases como antes de sofrerem a emulsão. Há emulsificantes para as duas orientações de emulsão, A/O e O/A, sendo respectivamente lipofílicos e hidrofílicos, sendo o segundo o mais comumente encontrado e usado. (CASTRO, 2014)

Ainda de acordo com Castro (2014), os emulsificantes podem ser sintéticos ou semissintéticos, variando o grau de ionização no meu, tal como sua origem, ou até serem compostos por uma mistura de emulsificantes, quando o meio permite. No Quadro 2 evidenciam-se alguns tipos de emulsificantes que existem.

Quadro 2 – Exemplos de agentes emulsificantes e suas características

Tipo	Mecanismo	Exemplo
Aniônicos	Formam íons carregados negativamente responsáveis pela sua capacidade emulsionante.	O/A= Sabões de metais alcalinos e de amônio (sais de sódio, potássio ou amônia de ácidos graxos de cadeia longa – estearato de sódio); sabões aminados (triethanolamina); compostos sulfatados e sulfonados (laurilsulfato de sódio). A/O= sabões de metais divalentes e trivalentes (sais de cálcio).
Catiônicos	Dissociam-se formando íons positivos, responsáveis pelas propriedades emulsionantes.	Cetrimida
Não iônicos	Balanço entre as porções hidrofóbicas e hidrofílicas da molécula.	Ésteres de glicerina e glicólicos
Anfóteros	Grupamentos carregados positivamente e negativamente, dependendo do pH do sistema	Lecitina, N-alquilaminoácidos

Fonte: Castro, 2014.

Os conservantes, por sua vez, consistem agentes que protegerão os produtos das emulsões da ação de agentes microbianos que poderiam intensificar a instabilidade do processo e induzir novamente à perda do procedimento, por permitir que seja reestabelecido um sistema heterogêneo de duas ou mais fases no meio. Sendo adicionado na formulação da emulsão, ele deve ser atóxico e estar em baixa concentração para que sua própria presença não desestabilize o meio, sendo solúvel com o meio contínuo, atuante na faixa de pH de trabalho e estável. (CASTRO, 2014)

Outro componente de relevância para a estabilidade do produto proveniente de uma emulsão é o antioxidante, que tem como função a proteção física e química do meio quanto à ação de intempéries que pode vir a causar a degradação da formulação. (ZANON, 2010)

Por último, o adensamento é um processo que ocorre com a finalidade de aumentar a densidade do meio, seja por eliminação de excesso de água ou pela homogeneização do sistema por conta de possíveis sedimentos ou particulados que se depositem e/ou dispersem pelo meio. Na indústria ele ocorre em tanques agitados sob rotação previamente definida pela engenharia de processo ou pelo sistema de controle de acordo com a formulação e caso de interesse. (ZANON, 2010)

2.3 Fungicidas

Fungicidas é um produto, que pode ser de origem natural ou sintética, que tem a função a eliminação ou inibição da ação e proliferação de fungos num sistema. Segundo Parreira, Neves e Zambolim (2009), eles podem ter uma atuação específica contra um ou dois tipos de fungo, ou de ação não específica, que são capazes de combater uma ampla gama de doenças derivadas de fungos.

Apesar de os específicos apresentarem grande efeito a suas destinações, há o risco de que, o constante e exclusivo uso dele a um sistema, leve o fungo a desenvolver uma resistência ao fungicida, levando indústrias a desenvolverem compostos que contenham misturas de um ou mais tipos de fungicidas ou que faça uso de diferentes compostos ativos para ampliar seus efeitos. (PARREIRA; NEVES; ZAMBOLIM, 2009)

Fortkamp (2018) caracteriza um fungicida como aquele que atua sobre um ambiente e elimina permanentemente os fungos dele, diferenciando-o de um componente fungistática, que permite o reaparecimento do fungo.

Entretanto, Stefanelo et al (2014), ressalta que a qualidade da aplicação é um fator importante quanto à eficácia do fungicida, pois a erradicação do fungo ou sua atenuação dependem de uma deposição mínima de conteúdo pesticida sob o elemento a ser eliminado e além da forma de manuseio, isso se relaciona diretamente com o tamanho a formato das gotículas de dispersão da aplicação do fungicida, tendo como característica uma maior eficácia ao se usar gotas menores, pois possibilitarão um melhor revestimento superficial.

Oliveira et al (2011) explica que a aplicação foliar de um fungicida, eficiente a aquela situação, e com uma boa dispersão interrompe de imediato as doenças logo após sua pulverização e mantém seu efeito tóxico aos fungos atuante por um tempo residual que varia de tipo em tipo de fungicida. Ele age penetrando pela superfície da planta e se espalhando através da transpiração da planta, aumentando sua área de efeito e, consequentemente, o controle de doenças provenientes de fungos.

O volume disperso sob o alvo também influencia na eficácia do fungicida, porém, a atualidade requer que se reduza essa aplicação por conta de competitividade agrícola, taxa de investimento e sustentabilidade ambiental, levando as indústrias a focarem mais no

aumento da qualidade de seus produtos ao invés de no volume com o qual são produzidos. (OLIVEIRA et al, 2011)

Os fungicidas podem ser classificados em diferentes grupos de acordo com sua formulação, ou seja, de acordo com o componente ativo que determina sua especificidade ou não, como por exemplo, benzimidazóis, estrobilurinas, triazóis, dentre outros, porém como a planta em estudo neste trabalho faz uso de um componente ativo da classe estrobilurina, apenas ela será abordada. (PARREIRA, NEVES, ZAMBOLIM, 2009)

As estrobilurinas são componentes químicos oriundos do fungo *Strobilurus tenacellus* (Figura 8) e atuam como um componente ativo na produção industrial de fungicidas. É um composto que induz a inibição da quinona oxidase no fungo, interferindo diretamente no processo respiratório dele e interrompendo a cadeia bioquímica a partir da mitocôndria do patógeno. (PARREIRA, NEVES, ZAMBOLIM, 2009)

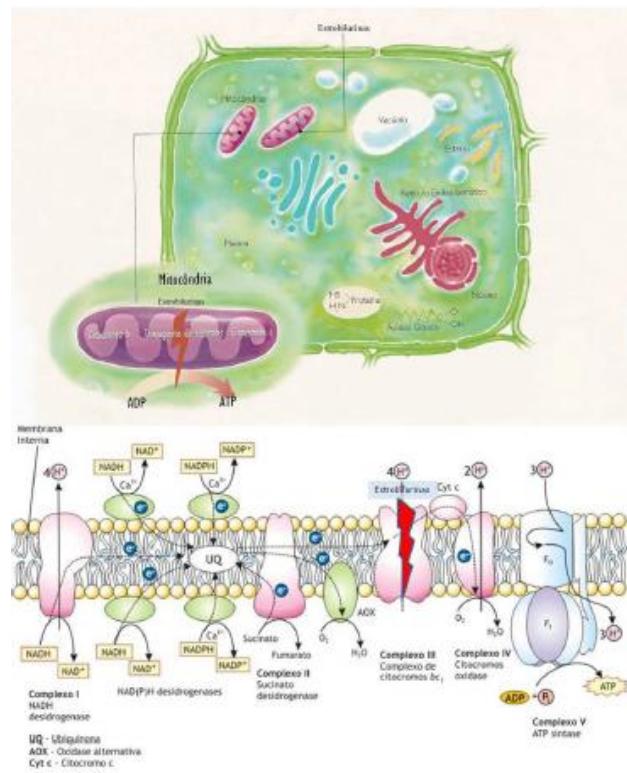
Figura 8 – *Strobilurus tenacellus*



Fonte: Parreira, Neves, Zambolim (2009)

O uso da estrobilurina na formulação do fungicida o torna específico a ação na interferência da cadeia respiratória do fungo, exemplificado na Figura 9, ele é chamado de fungicida mesostêmico de ação translaminar, e, apesar de sua alta eficácia, é caracterizado por Parreira, Neves e Zambolim (2009) como um fungicida de uso cauteloso, pois devido à sua especificidade é possível induzir o desenvolvimento de uma resistência a pesticidas aos fungos.

Figura 9 – Atuação da estrobilurina na inibição da cadeia respiratória do fungo



Fonte: Parreira, Neves, Zambolim (2009)

Uma das formas de se trabalhar com um composto ativo estrobilurina, na indústria para formação de um fungicida final é submetendo-a a um processo de emulsão, dentre outras etapas de transformação para que se obtenha um produto de melhor qualidade, porém, sua estrutura gera limitações a plantas industriais, sendo fatores decisivos na regulagem das condições de trabalho. Este fator limitante é a estrutura da estrobilurina, a qual é composta de ligações duplas, o que gera baixa estabilidade frente a energia luminosa e suscetível a instabilidade perante presença de alta energia térmica, que propiciará as condições energéticas para que se rompa a cadeia e perca a efetividade da molécula. (PARREIRA, NEVES, ZAMBOLIM, 2009)

2.4 Melhoria Contínua

Attadia e Martins (2003) apresentam a melhoria contínua como um conceito de um processo sob um grupo, como um todo, que visa a inovação, onde se é possível realizar implementações de baixa complexidade e baixo custo, porém com retornos visíveis. Todavia, a execução desse princípio ainda tende ser um desafio a muitas empresas.

Shigeo Shingo (2010) em seu livro “Kaizen e a arte do pensamento criativo”, afirma que “muitos problemas não surgem a menos que pessoas suficientemente curiosas questionem a norma”. Por essa filosofia, muitos processos industriais ou eventos rotineiros podem estar sendo limitados por um costume ou metodologias preestabelecidas, impedindo que funcionários e gestores consigam identificar oportunidades de melhoria.

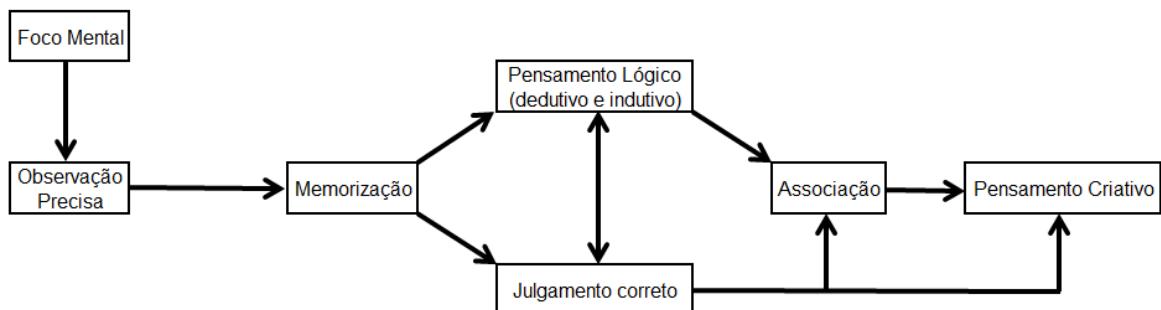
Shingo teoriza que para trabalhar com um problema, deve-se realizar três etapas, sendo elas descobrir o problema, esclarecê-lo e identificar sua causa, pois medidas tomadas com base em suposições ou estudos mal formulados sem a compreensão total do cenário podem ser mais prejudiciais do que benéficos ao seu grupo.

Attadia e Martins (2003), tal como Shingo, defendem que para se obter um processo de mudança, tem primeiro de se passar um processo de ruptura, de quebra de paradigmas e costumes antiquadas, antes de se criar novos costumes, pois, apesar dessas etapas serem opostas (destruir para criar), elas se complementam para gerar um ciclo de melhoria, o qual promove a sobrevivência de um grupo através da não adequação a um status quo ao longo do tempo.

Para a execução dessas etapas de melhoria diversas ferramentas foram criadas ao longo do tempo, princípios foram desenvolvidos e aprimorados, tais como Kanban, Kaizen, Lean Six Sigma, 5W2H, gráfico de Gant, etc, porém, mais que a utilização de uma ferramenta, os princípios por trás de sua origem são a essência da mudança.

Shingo defende que a mente do homem tem de ser flexível, se adaptar e aceitar mudanças, estruturando uma linha de raciocínio como na Figura 10 para a elaboração de uma ideia ou proposta de melhoria.

Figura 10 – Sete etapas do processo mental de elaboração de ideias



Fonte: Shingo, 2010.

É comum na indústria realizar uma análise de problema através dos 8 desperdícios Lean, para que seja formulado um plano de ação para o mesmo. Os desperdícios consistem em:

- Desperdício intelectual: se dá quando não se aproveitam talentos ou ideias de um indivíduo, não explorando sua total capacidade e contribuição.
- Movimentação: realizar mais movimentos e/ou deslocamentos que o necessário, seja de pessoas, equipamentos ou materiais.
- Transporte: deslocamento desnecessário para entregar matéria prima, produto acabado ou outro tipo de material.
- Superprodução: produzir muito acima que o necessário, gerando estoque, perda de material ou outras inconveniências decorrentes disso.
- Espera: tempo parado improdutivo devido à espera por equipamento, manutenção ou entrega de matérias.
- Estoque: geração de estoque de materiais ou produtos que não estão sendo processados ou gerando algum retorno.
- Defeitos: esforço aplicado devido a um retrabalho, informação incorreta ou resíduo.
- Superprocessamento: procedimentos que excedam a demanda do cliente e que não seja crucial para o término do processamento.

Sendo assim, através desses princípios que equipes, internas ou externas, atuam para promover uma implementação de melhoria numa empresa a fim de se manter competitiva, pautando-se em indicadores e medidores de eficiência como a Eficiência de Equipamento (*Asset Effectiveness - AE*). (ATTADIA e MARTINS, 2003)

2.5 Eficiência Global de Equipamento

Eficiência Global de Equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness – OEE*), de acordo com Nakajima (1989), consiste numa ferramenta utilizada para medir melhorias executadas com base numa metodologia de se prolongar a eficiência e durabilidade das máquinas de um sistema.

Ron e Rooda (2005) ainda acrescentam que ele consiste num indicador simples e global, sendo valorizado por não se focar em detalhes, mas nas métricas gerais do

funcionamento dos equipamentos e sistemas, sendo ressaltado por Santos (2009) que o OEE é um indicador aplicado a toda e quaisquer atividades dos processos ligados à operação, sendo recomendado a ambientes de alta produção e com foco na capacidade produtiva.

O OEE pode ser calculado através de um cálculo simples, realizando o produto entre o Índice de Disponibilidade (razão do tempo em que se esteve produzindo pelo tempo total disponível), o Índice de Desempenho (razão do desempenho real pelo desempenho desejado) e Índice de Qualidade (razão da quantia de produtos conforme pela quantia total produzida), como apresentado na Figura 11. (The Productivity Development Team, 1999)

Figura 11 - Estratificação das categorias de utilização de tempo no funcionamento de uma produção par ao cálculo de OEE



Fonte: The Productivity Development Team, 1999.

Nakajima (1989) diz que um índice de 85% de OEE é o ideal a ser buscado por uma empresa ou se ponderar os fatores de disponibilidade, qualidade e desempenho em sua produção, porém Santos (2009) reforça que, independentemente do valor apresentado pelo OEE, este não se trata de uma ferramenta que promoverá a melhoria, pois somente evidenciará quais as etapas de processo que necessitam de uma ação de correção ou melhoria, para que então seja tomada uma medida de otimização.

De forma análoga ao OEE, algumas empresas utilizam a Eficiência de Equipamento (*Asset Effectiveness* – AE), onde, além da eficiência da produção medida pelos mesmos critérios de qualidade, disponibilidade e desempenho, há também outros três fatores analisados para gerar o relatório de eficiência, sendo eles Perdas Programadas (*Standard Losses* – SL), Perdas Inesperadas (*Unexpected Losses* – UL), Oportunidade de Negócios (*Business Opportunities* – BO).

As perdas programadas consistem nas situações previstas no plano de produção em que a planta deixaria de produzir, tal como manutenções corretivas, discussões de segurança da equipe, dentre outras situações, sendo já contabilizado na expectativa de produção da campanha.

Já as perdas inesperadas consistem nas situações em que a planta é obrigada a ter sua produção interrompida, por um evento extraordinário, tal como uma quebra de equipamento, um incidente ou acidente, prejudicando assim o desempenho da produção em atingir sua meta.

Oportunidade de negócios é o tempo disponível de máquina parada nos equipamentos do sistema, devido a uma falta de demanda, o qual poderia ser utilizado para aumentar a produção quando houver a necessidade.

3 Metodologia

Este trabalho consiste num estudo de caso, de caráter qualitativo, que visou avaliar a elaboração de possíveis melhorias em um processo industrial numa planta de produção de fungicida.

As etapas nas quais esse trabalho consistiu foram um estudo analítico sobre os dados já existentes na planta de produção, uma validação dessas informações, acompanhando a planta e, por último, a elaboração das medidas a serem propostas à empresa visando melhorias do processo.

3.1 Estudo analítico

Primeiramente, foi realizado um mapeamento do processo para compreensão do sistema e das condições de trabalho envolvidas. Para isso, foi requisitado o fluxograma da planta, a receita da produção, as folhas de marcha com as marcações de data e etapas de processo, registros de resultados do laboratório (contendo dia, hora, medidas, aprovações e reprovações de amostras) e acesso à rede digital de informações de produção da planta em questão.

O início do estudo de otimização consiste em identificar o “gargalo”, termo industrial que se refere à etapa do processo que consome maior tempo de operação e interfere no cumprimento do cronograma de produção. Ao estudar a receita e folhas de marcha, percebeu-se que a Matéria Prima A é o maior foco da produção, pois a Matéria Prima B ocorre numa produção paralela e gera um volume equivalente ao dobro do necessário para produzir uma batelada do fungicida, justificando assim o foco nessa linha principal do processo.

Tendo ciência da linha de interesse, iniciou-se uma análise do fluxograma com a folha de marcha, rastreando os equipamentos envolvidos e as condições de trabalho, às quais estavam submetidos, para identificar os principais elementos que poderiam amarrar a produção cruzando a quantia de testes que eram feitas às amostras de cada processo, o tempo necessário para sua conclusão e sua relevância para o processo em si, identificando que as

etapas de emulsão R-101 e de moagem Z-102 seriam os maiores potenciais a gargalos de processo.

Com o acesso à rede de informações e coleta de dados digitais da planta e aos registros dos operadores referentes à hora de realização de cada etapa do processo, obteve-se para cada equipamento relações de sua variável de processo (pressão, temperatura, peso, nível, etc) com o tempo em que foi realizada a medição. Isso permitiu encontrar quando cada equipamento estava cheio ou vazio, ligado ou não, sucessivamente, permitindo identificar os tempos de ocupação para o R-101 e para o Z-102, porém, como a análise já estava sendo realizada, aproveitou-se para montar um controle do tempo de utilização de cada equipamento de todo o processo, visto Quadro 3, com as partes de interesse envolvidas, para posterior análise de melhoria.

Quadro 3 – Duração em que cada equipamento da planta esteve ocupado com uma carga durante uma campanha de processo

Equipamento	Duração (h)	Tempo de Trabalho (h)																													
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
R-101	15:24:00																														
Z-102	13:14:00																														
B-101	5:24:00																														
B-102	27:00:00																														

Fonte: Próprio autor

O tempo de ocupação diz respeito apenas ao tempo que o equipamento está com seu interior carregado com alguma quantia ou fração de matéria, mas não evidencia o tempo real em que o material foi manipulado dentro do equipamento, chamado de “tempo de operação”, logo, se tornou necessário encontrar os tempos em que cada etapa está agindo sob o material em seu respectivo processo. Para isso foi utilizado o software Excel em conjunto com a rede de dados e informações da planta para relacionar o início de cada etapa nas campanhas analisadas e os momentos em que o equipamento foi ligado e/ou desligado, através das medidas de temperatura, pressão ou peso, junto à medida do funcionamento do motor do equipamento ou da temperatura reacional interna do meio. Essa análise foi feita a cada equipamento da linha principal de interesse e isso forneceu um diagrama, mas com o tempo real de operação.

Durante a análise dos equipamentos foram identificadas situações de instabilidade nas variáveis de processo como temperatura, pressão e agitação, quando houve picos desses fatores ou se tornaram instáveis e a resposta do operador encarregado não foi suficiente ou a tempo da situação.

A diferença entre o tempo de ocupação para com o tempo de operação é dita como “oportunidade de negócio”, pois se trata de um intervalo de tempo não produtivo e não essencial ao processo.

Outro fator avaliado foi o AE referente à eficiência dos ativos presentes na planta, que apresenta a porcentagem referente a UL, SL, BO e AE. Estes valores eram monitorados constantemente pela empresa em questão e divulgado através de relatórios periódicos de indicadores de eficiência para consulta por parte dos colaboradores quando necessário, isso impossibilitava deduzir os cálculos para cada fator, porém já possuía a confiabilidade que descartava essa necessidade

3.2 Acompanhamento em campo

A segunda etapa desse estudo consistiu em vivenciar a produção para averiguar os dados obtidos da análise estatística dos dados fornecidos e obtidos na primeira parte.

Foi evidenciado nos primeiros estudos que o tempo de operação prescrito na receita era de 10,8 h e que, de acordo com os dados provenientes dos equipamentos da planta, estava levando cerca de 16,2 h. Porém, como nos dados constam apenas números e informações quantitativas e as folhas de marcha preenchidas pela produção não possuía um detalhamento, acompanhar a produção de forma a observar a etapa do R-101, Z-102 e B-102 no momento da carga, no da descarga e em momentos que ocorressem instabilidade de processo, forneceria um conjunto de dados que validariam ou não os dados obtidos via sistema.

Ao validar as informações obtidas na primeira análise e a não conformidade com a receita prescrita ao se estabelecer a planta, julgou-se que mais que dados, era importante também obter depoimentos dos funcionários responsáveis por acompanhar e executar cada etapa deste processo de produção, então além de acompanhar a execução desse sistema a partir do início de cada campanha, também foram feitos questionamentos aos operadores quanto à forma que eles trabalham, alterações e problemas que eles evidenciavam no dia-a-dia tal como os “insights” deles quanto às sugestões e ideias que surgiam à equipe ao se observar cada acontecimento na planta ou evolução do estudo.

3.3 Elaboração de oportunidade

Com as etapas prévias de análise, concluiu-se que a etapa de emulsão e a etapa de moagem e consistiam nos principais gargalos do processo. Portanto, a equipe foi dividida em duas partes para que fossem tocados estudos paralelos sobre os dois equipamentos e suas utilizações.

No estudo sobre a etapa de emulsão, o processo foi fragmentado em todas as partes que havia alguma alteração na condição de trabalho e que necessitavam um tempo para acondicionamento do sistema ou equipamento para dar continuidade às etapas produtivas, assim, identificaram-se rampas de calor, rampas de carregamento e de descarregamento. A rampa de calor era devido à prática de aquecimento de aditivos e matérias primas dentro do reator tal como para o resfriamento ao se evitar que ocorra picos de calor ou que o sistema superaqueça com a geração de calor do processo, além de necessitar disso para direcionar o conteúdo do mesmo à etapa seguinte. Nas etapas de carga e descarga foram encontrados intervalos consideráveis entre abastecimentos ou desabastecimentos de equipamento e entre os momentos em que se acrescia um aditivo, uma matéria prima ou outro composto ao mesmo meio que estava sofrendo processamento.

Identificou-se que esses tempos se deviam à forma com que cada produto era carregado, ao fluido utilizado para arrefecimento do sistema ou à variação de temperatura utilizada para aquecê-lo, então foram feitos cálculos para se estimar a diferença de tempo que mudanças nos métodos mencionados teriam no sistema e o quanto isso acarretaria, em tempo, a mais à produção.

Ao se trabalhar com a etapa de moagem, foi possível notar que os dois principais fatores que inferiam alguma mudança no tempo de trabalho eram o tempo que seu conteúdo ficava submetido à moagem em si e o tempo de carga e descarga do equipamento. Então foi analisado, caso a planta seguisse o tempo real de operação e não o tempo de ocupação com os intervalos extras aplicados por juízo de valor, quanto isso significaria em eficiência de processo, em questão de tempo ganho de produção e em tempo de volume a mais que poderia ser produzido com a redução desse tempo na duração total da campanha, em função do volume.

4 Resultados e Discussão

A análise preliminar do funcionamento dos equipamentos apresentou que, em operação contínua de produção do fungicida, passando por todas as máquinas envolvidas, havia um intervalo de maior influência sob a produção gerando gargalos, que comprometem o rendimento do processo, no início do procedimento os quais seriam as etapas de emulsão (R-101), o qual será discutido no tópico 4.1 deste trabalho, e moagem (Z-102), que será discutido no tópico 4.2 deste trabalho.

Enquanto no caso do tanque pulmão (B-102), que também apresentou uma alta duração, seu tempo de ocupação era influenciado pela condição de trabalho do dia, podendo ou não seguir para o envase, etc.

Utilizando um sistema de coleta de dados dos equipamentos da produção, chamado Sistema de Gerenciamento de Informação da Produção (*Production Management Information System - PIMS*), foi possível extrair dados de operação pertinentes às produções de períodos desejados e como a demanda ocorreu sob a produção de 2018, foram analisadas as produções do fungicida durante o respectivo ano. Neste primeiro momento determinou-se o início e o fim de cada lote, o que nos forneceu o tempo médio de ocupação do R-101 como sendo de 15,39 h e do Z-102 de 13,23 h.

Portanto, similar ao Quadro 3, apresentado em Metodologia, foi feita uma projeção com os tempos médios de dispersão e de moagem, para se comparar depois a eficiência das melhorias, obtendo assim o Quadro 4.

Quadro 4 – Tempo médio de ocupação do reator de emulsão e do moinho de moagem em uso ininterrupto de produção sequencial.

Fonte: Próprio autor

Como a diferença entre o tempo médio de utilização dos equipamentos não é tão grande, se prevê que ao reduzir o tempo de ocupação do R-101, ele se tornaria inferior ou próximo do Z-102, o que faria então do moinho um gargalo. Isso leva a crer que, ao invés de se trabalhar com apenas um dos equipamentos, a melhor abordagem a esse sistema, de forma a prevenir que o projeto apenas troque o gargalo existente, seja trabalhar nas duas frentes da produção.

4.1 Dispersão/Emulsão

Com o relatório de eficiência (AE) fornecido pela planta, notou-se que há 13,4% de Perdas Inesperadas (*Unexpected Losses* - UL), que seria tempo de produção perdido por conta de situações não programadas. Durante a operação do R-101 quando se produz esse fungicida, dentre os problemas que podem gerar essas perdas foram encontradas falhas sequenciais, ou seja, atraso de comando ou resposta dos operadores ao manusear as etapas da produção, como dar início ao passo seguinte, dar o comando no sistema para que se inicie um aquecimento ou para que se abram/fechem válvulas de segurança ou alimentação do sistema.

Em 2018 também foram identificadas, como causa para essas UL, atraso nas trocas de turno, muitas paradas para manutenção de equipamentos (trocador de calor, zipper, reator, etc) do sistema do R-101 e problemas de informática no gerenciamento e inserção de comandos nos sistemas automáticos presentes na planta.

Perdas inesperadas são eventos que não podem ser previstos, dos quais não se possui controle sobre, então é difícil de serem eliminadas em sua totalidade, porém é possível mitigá-los com medidas simples de controle e supervisão de processos produtivos. Para tal, a equipe de melhoria propôs 5 medidas para reduzir o UL até 3,6%.

4.1.1 Medida 1 – Aplicação de sistema de gestão visual

Nesta empresa é normatizada a utilização de uma chamada folha de marcha, onde se realizam anotações de início, término e imprevistos das campanhas em execução. Então fazendo uso dessas anotações, em comparação com o acompanhamento das campanhas via sistema PIMS, identificou-se que entre o término real da etapa de produção e o início da etapa seguinte a partir da ação do operador, havia um atraso de 1,8% do tempo produtivo, padrão evidenciado ao longo dos meses analisados.

Para suprir esses 1,8%, foi proposta a implementação de um sistema de gerenciamento visual baseado em um Kanban, com identificação de cores para inícios e término das etapas pelos operadores, e a instauração de um quadro Gantt automatizado,

conectado ao sistema de monitoramento dos equipamentos, de forma que, no instante em que a condição de término de operação seja atingida por um equipamento de importância, por exemplo, temperatura da massa, fechamento de uma válvula de passagem, massa no interior de um reator, ou até a pressão do equipamento, o Gantt identifique que a respectiva etapa se encerrou e inicie a formação de uma nova barra para o começo da etapa seguinte.

Considerando que a planta possui uma capacidade anual de produção de 4.510.080 L e que isso é referente a um uso de 56,8% do seu tempo dedicado à produção, a recuperação de 1,8% de tempo, que previamente eram gastos com esses atrasos de continuidade por conta operacional, leva a um aumento da produção em 142.925 L, o que é equivalente a um aumento de 3,2% da produção prévia.

Tabela 1 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 1

	Eficiência da Planta (%)	Volume (L)
Capacidade Atual	56,8%	4.510.080
Recuperação de Capacidade	+ 1,8%	+ 142.925
Capacidade Após Melhoria	58,6%	4.653.005

Fonte: Próprio autor

Como apresentado na Tabela 1, supondo que haja uma execução perfeita desta medida, seria possível recuperar até 1,8% da eficiência produtiva perdida, porém por se tratar de uma ação dependente do fator humano, não há como se eliminar 100% das chances de falha e assumir um retorno máximo nessa situação criaria falsas expectativas ao cliente, por isso se é aplicado um fator de 50% à expectativa de retorno, o que não impede que se obtenha algo maior, porém alinha com a incerteza oriunda do controle.

Na Tabela 2 apresentamos que o valor estimado de 142.925 L da Tabela 1 aumentaria 3,2% no volume produzido anualmente, mas como o estamos corrigindo para haver uma expectativa real, corrigimos seu valor para 71.463 L, levando a um incremento de 1,6% de rendimento para a planta, permitindo que seja alcançada uma produção de 4.581.543 L por ano.

Tabela 2 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 1

	Volume Produzido (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100,0%
Aumento na Produção	+ 142.925	+ 3,2%
Aumento com Margem de Segurança	+ 71.463	+ 1,6%
Produção com Melhoria + Segurança	4.581.543	101,6%

Fonte: Próprio autor

4.1.2 Medida 2 – Organizações e trocas de turno

Outro motivo de atraso identificado foi uma ineficiência na troca de turnos. Identificou-se que entre o término do turno de uma equipe e o instante em que a equipe seguinte retoma o controle do processo, há uma perda de 0,7% de tempo de acordo com o relatório de AE da planta, então a instauração de uma nova prática para se evitar esse atraso na retomada da operação foi vista como a melhor medida corretiva.

Até então a troca de turnos não possuía um padrão para realização, ou seja, havia turnos que a executavam na sala de controle, enquanto outros executavam no vestiário ou na área produtiva. Visto que alguns dessas práticas eram ineficientes, identificou-se que a troca de turno na sala de controle demandava menor tempo e com menor atraso para retomada mais eficiente.

Sob a adequação dessa mudança de sistema de troca de turnos, seriam recuperados os 0,7% identificados como UL, que frente à produção anual de 4.510.080 L, significaria um aumento de 55.582 L, permitindo uma produção anual máxima, agora, de 4.565.662 L de fungicida como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 2

	Eficiência da Planta (%)	Volume (L)
Capacidade Atual	56,8%	4.510.080
Recuperação de Capacidade	+0,7%	+ 55.582
Capacidade Após Melhoria	57,5%	4.565.662

Fonte: Próprio autor

Esse ganho de 55.582 L apresentado na Tabela 3 é equivalente a um aumento de 1,2% no rendimento anual de produção dessa planta, porém, como apresentado na Tabela 4, pela mesma situação da Medida 1, em que apesar da nova organização proposta ser efetiva,

ela ainda estará sujeita à fatores humanos que podem comprometer sua eficácia, foi considerada uma margem de 50% de eficiência para o cálculo de benefício da medida, levando a um aumento, assim, da capacidade em 27.791 L a um total de 4.537.871 L anuais, um aumento corrigido de 0,6% no rendimento da produção.

Tabela 4 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 2

	Volume Produzido (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100,0%
Aumento na Produção	+ 55.582	+ 1,2%
Aumento com Margem de Segurança	+ 27.791	+ 0,6%
Produção com Melhoria + Segurança	4.537.871	100,6%

Fonte: Próprio autor

4.1.3 Medida 3 – Elaboração de plano de ação para problema no “Banho-Maria”

O sistema de aquecimento das matérias primas, conhecido como Banho-Maria, é um outro elemento de grande impacto na eficiência da planta, pois paradas de manutenção neste equipamento requerem um tempo equivalente a 2 turnos de operadores de máquina parada e compõe, sozinho, 0,6% de UL devido à frequência de quebras.

Para tal, foi proposta a elaboração de um plano de contingência com foco em suportar esse equipamento durante sua operação. A sugestão é que seja realizado um contrato de monitoramento com a equipe de manutenção, para que se possua uma resposta mais rápida a problemas que venham a ocorrer, aumentar a frequência de revisão e manutenção das partes em uso e sobressalentes desse sistema, para que o operador possa agir de forma mais rápida e manter o funcionamento da produção.

Com a aplicação desse sistema preventivo, uma recuperação de 0,6% de UL levaria a um ganho de 47.642 L de produção, levando sozinho o volume anual produzido a um total de 4.557.722 L como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 3

	Eficiência da Planta (%)	Volume (L)
Capacidade Atual	56,8%	4.510.080
Recuperação de Capacidade	+ 0,6%	+ 47.642
Capacidade Após Melhoria	57,4%	4.557.722

Fonte: Próprio autor

Esse ganho demonstrado na Tabela 5, de 47.642 L, é equivalente a um aumento no atual rendimento obtido pela produção de 1,1%, porém, na Tabela 6 aplica-se a margem de segurança, pois comprehende-se que não é possível evitar que ocorra alguma quebra ou necessidade de máquina parada. Considerando uma margem de 50%, o benefício esperado por essa medida consiste em 23.821 L, corrigindo o aumento de rendimento a 0,5%, levando a uma produção anual total de 4.533.901 L.

Tabela 6 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 3

	Volume Produzido (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100,0%
Aumento na Produção	+ 47.642	+ 1,1%
Aumento com Margem de Segurança	+ 23.821	+ 0,5%
Produção com Melhoria + Segurança	4.533.901	100,5%

Fonte: Próprio autor

4.1.4 Medida 4 – Aprimoramento da gestão de manutenção preventiva dos trocadores de calor

Ao analisar os registros de manutenção e o AE da planta, identificou-se que os trocadores de calor do sistema desse fungicida apresentam constantemente falha e necessidade de parada para manutenção, o que compõe 0,3% do UL da planta.

Para se prevenir tal frequência na ocorrência de falhas e necessidade de manutenção nos trocadores de calor, foi proposta uma revisão no plano de manutenção preventiva da máquina e um aperfeiçoamento do sistema de controle.

Como a equipe de manutenção é proveniente da própria planta produtiva, não há geração de gastos extras pelo aumento do número de revisões e garante que, a qualquer sinal de falha, não só haja uma equipe pronta para atender o sistema com maior facilidade, mas que também diminua em quantia de ocorrências.

Já o aperfeiçoamento proposto, se dá devido à oportunidade identificada para um monitoramento mais preciso e rápido das variáveis de processo. Atualmente a planta conta com alguns equipamentos automatizados, porém há muitos leitores de condições de trabalho que são somente de campo, dificultando uma ação mais rápida para se remediar um incidente operacional, logo, a adaptação a um sistema 4.0 com uma comunicação aprimorada entre sala de controle e campo vai garantir que cada condição, etapa e situação da produção seja integralmente monitorada.

Seguindo as medidas propostas, é esperada uma recuperação de 0,3% de UL, o que levaria a um ganho de 23.821 L de produção anual como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 4

	Eficiência da Planta (%)	Volume (L)
Capacidade Atual	56,8%	4.510.080
Recuperação de Capacidade	+ 0,3%	+ 23.821
Capacidade Após Melhoria	57,1%	4.533.901

Fonte: Próprio autor

Esse ganho de 23.821 L é equivalente a 0,5% de aumento no rendimento da planta, mas para efeito de cálculo, como nos casos prévios, a mesma margem de segurança foi aplicada para se obter a Tabela 8 (50% de chance de sucesso) com uma expectativa mais real, esperando-se assim que a planta possua um ganho de 11.910 L em sua produção anual, aumentando em 0,3% seu rendimento, levando a uma produção anual de 4.521.990 L.

Tabela 8 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 4

	Volume Produzido (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100,0%
Aumento na Produção	+ 23.821	+ 0,5%
Aumento com Margem de Segurança	+ 11.910	+ 0,3%
Produção com Melhoria + Segurança	4.521.990	100,3%

Fonte: Próprio autor

4.1.5 Medida 5 – Sistema de monitoramento mais estável

Como demonstrado na Figura 11 há muita instabilidade nas leituras dos equipamentos que estão integrados no sistema de monitoramento PIMS, fora os equipamentos que ainda não possuem essa conexão. Isso leva a diversos trabalhos de registro

de informações manualmente, implicando em atrasos de tomada de ação para com a produção e atrasos no carregamento de informações para análise pelo e no sistema.

Isso foi reportado como responsável por 0,7% de UL, porém, para uma ação rápida espera-se atacar 0,2% com as propostas de implementação de um sistema chamado de “Controle de Batelada” (*Batch Control*), que se dedica especificamente a monitorar e gerenciar o uso de equipamentos numa produção em batelada, e com a implementação das fichas padrões, que os operadores necessitam preencher, num sistema de tablets para viabilizar um trabalho em campo com menor deslocamento e uma intercomunicação mais eficaz entre as partes na planta produtiva (equipamento – operador – sala de controle).

A eliminação desses 0,2% de UL levaria a um ganho de 15.881 L a mais na produção, como demonstrado na Tabela 9, o equivalente a um aumento de 0,4% em sua capacidade produtiva anual.

Tabela 9 - Cálculo de recuperação de capacidade pela redução do UL da planta e implicação na produção através da Medida 5

	Eficiência da Planta (%)	Volume (L)
Capacidade Atual	56,8%	4.510.080
Recuperação de Capacidade	+ 0,2%	+ 15.881
Capacidade Após Melhoria	57,0%	4.525.961

Fonte: Próprio autor

Corrigindo-se a expectativa dessa medida na Tabela 10, aplica-se um mesmo intervalo de segurança, esperando-se obter um aumento de 7.940 L, com um aumento de rendimento de 0,2%, levando a uma produção anual de 4.518.020 L.

Tabela 10 - Cálculo do aumento de rendimento na produção do fungicida através da implementação da medida 5

	Volume Produzido (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100,0%
Aumento na Produção	+ 15.881	+ 0,4%
Aumento com Margem de Segurança	+ 7.940	+ 0,2%
Produção com Melhoria + Segurança	4.518.020	100,2%

Fonte: Próprio autor

4.1.6 Medida 6 – Reduzir tempo de abastecimento de água no R-101

Foi identificado que na etapa de alimentar o reator com água, no início do processo, despende-se de 43,5 min até atingir a capacidade necessária para que se inicie a produção, porém a planta possui a alternativa de se trocar a bomba atualmente instalada por uma nova de maior vazão (20 m³/h) e com um sistema de alimentação automático, o que facilitaria a gestão de início e continuidade de etapas, além de agilizar o preenchimento do reator.

O tempo de ciclo do R-101 para a produção de 1 lote de fungicida é de 923,9 min, a troca de equipamento fará com que se economize 12 min e, como apresentado na Tabela 11, considerando que com o tempo atual de produção, há uma geração anual de 4.510.080 L, 12 min é equivalente a uma produção de 58.649,5 L anualmente. Na Tabela 12 mensura-se que esse ganho representa um aumento de 1,3% no rendimento anual da planta e que seu benefício faria com que a produção anual de fungicida se apresenta no valor 4.568.729 L.

Tabela 11 - Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 6

	Tempo (min)	Volume Anual (L)
Tempo de Produção Padrão	923,9	4.510.080,0
Tempo de Produção Melhorado	911,9	4.568.729,5
Benefício Obtido	- 12,0	+ 58.649,5

Fonte: Próprio autor

Tabela 12 - Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 6

	Volume Anual (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100%
Aumento de Produção	+ 58.649,5	+ 1,3%
Chance de Sucesso		100%
Produção Total com Melhorias	4.568.729	101,3%

Fonte: Próprio autor

4.1.7 Medida 7 – Sistema de alimentação de água pré-aquecida ao reator R-101

Após encher o reator com água, no procedimento padrão de produção, a água é aquecida em seu interior para então dar continuidade ao procedimento. O time propôs um preaquecimento paralelo desta água, para que quando ela fosse dosada no reator, já entrasse sob a temperatura desejada, o que eliminaria essa etapa de aquecimento mencionada no processo vigente.

Essa etapa de aquecimento, além de demandar um tempo significativo dada à massa a receber esse calor, também compromete o aquecimento da massa do R-101 durante o processamento devido ao equilíbrio de temperatura formado ao se colocar água, inicialmente a uma temperatura inferior. Para suprir isso, essa alimentação de água previamente aquecida pode ser realizada com um aprimoramento da linha já utilizada, a isolando das outras matérias primas e instalando um misturador água/vapor para se encarregar da regulagem de temperatura.

Esse aquecimento, atualmente, leva 44 min, os quais seriam eliminados com a instalação desse sistema de alimentação paralela de água quente. Assumindo-se que para um ciclo de 923,9 min se obtém a produção anual de 4.510.080 L, a Tabela 13 demonstra que esse ganho representa um aumento de 214.828,5 L de fungicida por ano.

Tabela 13 - Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 7

	Tempo (min)	Volume Anual (L)
Tempo de Produção Padrão	923,9	4.510.080,0
Tempo de Produção Melhorado	879,9	4.724.908,5
Benefício Obtido	- 44,0	+ 214.828,5

Fonte: Próprio autor

Como indicado na Tabela 13, esse tempo recuperado permite a produção de 214.828,5 L a mais por ano, na Tabela 14 isso é convertido em ganho de rendimento para a planta, demonstrando que isso implica num aumento de 4,8% a mais em relação à produção atual, levando a um total de 4.724.908 L.

Tabela 14 - Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 7

	Volume Anual (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100%
Aumento de Produção	+ 214.828,5	+ 4,8%
Chance de Sucesso		100%
Produção Total com Melhorias	4.724.908	104,8%

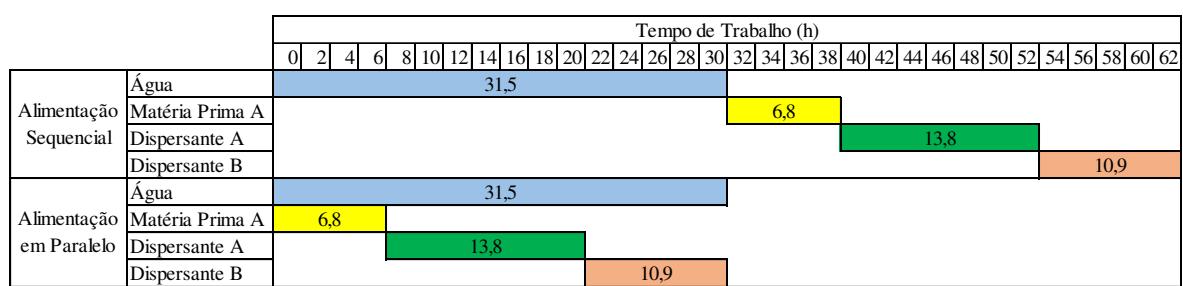
Fonte: Próprio autor

4.1.8 Medida 8 – Alimentação paralela de água e matérias primas

Pela organização e equipamentos atualmente à disposição da planta, a alimentação das matérias primas necessárias para o início do processo e da água, é feita de maneira sequencial, sendo primeiro a água e posteriormente a matéria prima e dispersantes utilizados.

Já considerando a melhoria da Medida 6 no tempo de dosagem da água ao reator, os respectivos tempos de dosagem da água, matéria prima e dos dois dispersantes são 31,5 min, 6,8 min, 13,8 min e 10,9 min. Somando-se os tempos das alimentações de matérias, que individualmente são mais rápidas, vê-se que demoram aproximadamente o mesmo tempo que o da alimentação total da água, logo, caso isso seja realizado em paralelo, podemos reduzir o tempo de abastecimento do reator R-101 pela metade, ganhando 31,5 min na produção, como representado no Quadro 5.

Quadro 5 – Sequenciamento da alimentação de água, matéria prima e dispersantes para o início de operação no reator R-101



Fonte: Próprio autor

Para garantir que seja possível mudar a forma de se fazer a dosagem dos respectivos materiais, é necessária a instalação de novos e adequados leitores de célula de carga, pois, uma vez que era 1 via de dosagem para todos os componentes, se possuía somente um leitor para todos, logo, para que sejam utilizadas 4 vias de alimentação simultâneas, cada uma irá requerer seu respectivo leitor de massa e vazão, além de uma adaptação da alimentação dos materiais de manual para automática, assim padronizando e garantindo uma estabilidade e adequação ao tempo previsto de operação.

A Tabela 15 mostra que essa redução de 31,5 min na dosagem para cada ciclo, em 1 ano, permitiria produzir 153.763 L a mais de produto.

Tabela 15 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 8

	Tempo (min)	Volume Anual (L)
Tempo de Produção Padrão	923,9	4.510.080,0
Tempo de Produção Melhorado	892,4	4.663.842,7
Benefício Obtido	- 31,5	+ 153.762,7

Fonte: Próprio autor

Esse ganho mostrado na Tabela 15 implica num aumento de 3,4% no rendimento atual, alterando a produção anual total de 4.510.080 L para 4.663.843 L.

Tabela 16 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 8

	Volume Anual (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100%
Aumento de Produção	+ 153.762,7	+ 3,4%
Chance de Sucesso		100%
Produção Total com Melhorias	4.663.843	103,4%

Fonte: Próprio autor

4.1.9 Medida 9 – Troca de estado físico de matéria prima

Como mencionado, essa planta consiste em uma planta de fase líquida, fazendo uso de materiais na fase aquosa desde o início de seu processo ao seu final. Porém, há certos componentes que são comprados dos fornecedores na forma de pó, os quais são solubilizados na planta e então inseridos ao reator como solução.

Por se tratar de um pó, são necessárias medidas extras para sua utilização, como o uso, por parte do operador, de uma roupa de proteção de corpo inteiro (macacão com capuz hermético com uso de máscara para pó) para que possa manipular o material, a solubilização deste e depois sua transferência para o reator, etapas que somam 18,9 min de operação.

É possível se obter, através de fornecedores internos, esse material já na fase líquida, com uma concentração de 50%, porém irá requerer a instalação de um pequeno tanque dedicado a este material e de equipamentos, tais como bomba e leitores, para se montar adequadamente um sistema para sua alimentação.

Tendo ciência que esta é uma medida com um considerável investimento agregado, também foi sugerido à planta que, caso não seja possível comprar tais equipamentos

dedicados à matéria prima líquida, poderia se adaptar um vaso de dispersão a ficar responsável por transformar o pó em solução, de antemão, para ser utilizado na produção.

Supondo a substituição do tipo de matéria prima utilizada, recuperar-se-ia 18,9 min, aumentando a produção em 92.257,6 L anuais, como mostrado na Tabela 17.

Tabela 17 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 9

	Tempo (min)	Volume Anual (L)
Tempo de Produção Padrão	923,9	4.510.080,0
Tempo de Produção Melhorado	905,0	4.602.337,6
Benefício Obtido	- 18,9	+ 92.257,6

Fonte: Próprio autor

A Tabela 18 demonstra que esse ganho representa um aumento de 2% no rendimento, implicando numa produção total anual de 4.602.338 L de produto.

Tabela 18 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 9

	Volume Anual (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100%
Aumento de Produção	+ 92.257,6	+ 2,0%
Chance de Sucesso		100%
Produção Total com Melhorias	4.602.338	102,0%

Fonte: Próprio autor

4.1.10 Medida 10 – Início do resfriamento no momento de amostragem

Após um tempo sob processo de emulsão, é retirada uma amostra e enviada ao laboratório para avaliar a qualidade da dispersão e, se aprovado, inicia-se o processo de resfriamento da massa. Porém, através de uma análise estatística, foi identificado que para o tempo de operação que usam como parâmetro para se retirar a amostra, quase que eu sua totalidade são aprovados os tamanhos de partículas, ou seja, não há reprova para esse tempo de processamento.

Sendo assim, a proposta é o estabelecimento de um procedimento em que, ao se atingir o marco de tempo para a antiga remoção de amostra, já seja iniciado o resfriamento do sistema, devido a uma confiabilidade estatística desse tempo de operação, o que economizaria 21,3 min de espera que existiam entre remover a amostra, encaminhar ao laboratório e então obter-se uma posição quanto à qualidade do material.

A recuperação desses 21,3 min repercutem numa produção extra de 103.972,9 L de produto, anualmente, como mostrado na Tabela 19.

Tabela 19 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 10

	Tempo (min)	Volume Anual (L)
Tempo de Produção Padrão	923,9	4.510.080,0
Tempo de Produção Melhorado	902,6	4.614.052,9
Benefício Obtido	- 21,3	+ 103.972,9

Fonte: Próprio autor

A Tabela 20 demonstra que esse aumento consiste num ganho de 2,3% sob o rendimento anual atual, levando a uma produção total de 4.614.053 L anual.

Tabela 20 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 10

	Volume Anual (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100%
Aumento de Produção	+ 103.972,9	+ 2,3%
Chance de Sucesso		100%
Produção Total com Melhorias	4.614.053	102,3%

Fonte: Próprio autor

4.1.11 Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102

Através do sistema de monitoramento de equipamento, PIMS, mencionado anteriormente, foi identificado que, após o término do processamento da massa no reator R-101, há uma demora de 17,3 min para que haja a transferência completa ao moinho Z-102 para se iniciar a etapa de moagem.

É possível reduzir esse tempo em 50% substituindo o sistema de transferência por gravidade, atualmente utilizado, pela instalação de uma bomba, ganhando 8,6 min de produção para o sistema. A Tabela 21 demonstra que esse tempo repercutem em um ganho de produção de 41.979,7 L anuais.

Tabela 21 – Redução do tempo necessário para conclusão de um ciclo operacional ao se aplicar a Medida 11

	Tempo (min)	Volume Anual (L)
Tempo de Produção Padrão	923,9	4.510.080,0
Tempo de Produção Melhorado	915,3	4.552.059,7
Benefício Obtido	- 8,6	+ 41.979,7

Fonte: Próprio autor

Pensando no rendimento da planta, tomando como base sua produção anual atual, esse ganho significa um aumento em 0,9% no rendimento anual da planta, levando a uma nova produção de 4.552.060 L anuais. Como esta é uma ação mecânica, que não está sujeita a uma falha humana de operação, não é necessário considerar uma chance de sucesso inferior a 100% para a medida.

Tabela 22 – Aumento no rendimento anual de produção do fungicida com a redução do tempo de ciclo pela Medida 10

	Volume Anual (L)	Rendimento (%)
Produção Atual	4.510.080	100%
Aumento de Produção	+ 41.979,7	+ 0,9%
Chance de Sucesso		100%
Produção Total com Melhorias	4.552.060	100,9%

Fonte: Próprio autor

4.1.12 Efeito das medidas – Dispersão/Emulsão

Devido ao volume de medidas que foram propostas e modificações ou aperfeiçoamentos de processo e equipamentos que cada uma demandaria, os cálculos de ganho e rendimento foram realizados sempre em cima do valor de produção anual original, ou seja, da base de cálculo, pois isso permite à planta avaliar dentre elas, quais as medidas que seriam mais adequadas à sua necessidade, fornecendo um retorno mais rápido ou que possuísse uma menor complexidade de implementação por parte da planta.

Entretanto, a ideia principal desse projeto é que as medidas sejam aplicadas em conjunto, de forma que o ganho proveniente de cada uma seja ainda maior ao ampliar uma produção já otimizada.

Desta forma, ao se aplicar as medidas, na ordem em que foram propostas, sequencialmente para se estimar o aumento total de rendimento e ganho em volume de produção anual, obtém-se um aumento de 19,3% em relação à produção prévia, equivalente a 872.283 L anuais a mais de produção, permitindo à planta, agora, produzir anualmente 5.382.363 L de fungicida para atender sua demanda, tal como apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Resumo dos efeitos das medidas de maneira coletiva na produção total anual e eficiência produtiva da planta de fungicida

Medidas	Ganho (%)	Volume (L)	Capacidade (%)
Situação Inicial	-	4.510.080	100,0%
Medida 1 – Aplicação de sistema de gestão visual	1,6%	4.581.543	101,6%
Medida 2 – Organizações e trocas de turno	0,6%	4.609.774	102,2%
Medida 3 – Elaboração de plano de ação para problema no “Banho-Maria”	0,5%	4.634.121	102,8%
Medida 4 – Aprimoramento da gestão de manutenção preventiva dos trocadores de calor	0,3%	4.646.359	103,0%
Medida 5 – Sistema de monitoramento mais estável	0,2%	4.654.539	103,2%
Medida 6 – Reduzir tempo de abastecimento de água no R101	1,3%	4.715.068	104,5%
Medida 7 – Sistema de alimentação de água pré-aquecida ao reator R-101	4,8%	4.939.660	109,5%
Medida 8 – Alimentação paralela de água e matérias primas	3,4%	5.108.069	113,3%
Medida 9 – Troca de fase de matéria prima	2,0%	5.212.559	115,6%
Medida 10 – Início do resfriamento no momento de amostragem	2,3%	5.332.726	118,2%
Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102	0,9%	5.382.363	119,3%
Aumento Total de Eficiência Anual	-	+ 872.283	+ 19,3%

Fonte: Próprio autor

Além desses ganhos em questão de litros produzidos, outro ganho que se obteve foi na forma de uma produção mais organizada, controlada e rápida, possuindo uma redução considerável em seu tempo de ciclo, o que permitirá futuras modificações e alterações em seu processo, se necessário, sem apresentar gargalo nesta etapa da produção.

Das 11 medidas apresentadas para o reator R-101, as 5 primeiras focaram em eliminar ou minimizar tempos perdidos com transtornos inesperados, que levassem à parada da planta, porém, como se trata de um tempo que até então não foi explorado para uma produção, este não foi contabilizado no cálculo de redução de ciclo, somente na recuperação de capacidade, que é o aumento do limite de produção ao qual se pode chegar (o que gerou a necessidade da “porcentagem de sucesso” inferior a 100% para os cálculos).

Portanto, para se estimar o novo ciclo e o quanto reduziu a partir do original, foram utilizadas as Medidas de 6 a 11, as quais resultaram em conjunto, numa redução de 136,3 min (aproximadamente 2,3 h) fazendo com que o ciclo dependa de apenas 787,6 min (aproximadamente 13,1 h) para ser concluído, tal como apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 – Resumo dos efeitos das medidas de melhoria, propostas ao R-101, sob o tempo total de ciclo de operação

Medidas	Redução de Tempo (min)	Ciclo (min)
Situação Inicial	-	923,9
Medida 1 – Aplicação de sistema de gestão visual	-	-
Medida 2 – Organizações e trocas de turno	-	-
Medida 3 – Elaboração de plano de ação para problema no “Banho-Maria”	-	-
Medida 4 – Aprimoramento da gestão de manutenção preventiva dos trocadores de calor	-	-
Medida 5 – Sistema de monitoramento mais estável	-	-
Medida 6 – Reduzir tempo de abastecimento de água no R101	12,0	911,9
Medida 7 – Sistema de alimentação de água pré-aquecida ao reator R-101	44,0	867,9
Medida 8 – Alimentação paralela de água e matérias primas	31,5	836,4
Medida 9 – Troca de estado físico de matéria prima	18,9	817,5
Medida 10 – Início do resfriamento no momento de amostragem	21,3	796,2
Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102	8,6	787,6
Tempo Total Recuperado	- 136,3	-

Fonte: Próprio autor

As medidas desenvolvidas ao longo deste projeto para a etapa de emulsão foram detalhadas e objetivas. A equipe apresentou de forma clara as justificativas para suas aplicações e considerou as diversas variáveis que os equipamentos estão sujeitos, como a diferença entre uma mudança de processo/equipamento para com a implementação de uma medida comportamental.

Um detalhe importante da expectativa de aumento de produção, no valor de 19,3% como apresentado na Tabela 23, é que as medidas que foram consideradas com 50% de

sucesso, ou seja, que trarão 50% do benefício máximo que elas poderiam trazer para a planta, é que esse valor é certo de se alcançar aplicando a medida, porém não é o limite. Espera-se que com o tempo e prática da equipe envolvida, mesmo medidas que foram consideradas com um sucesso inferior a 100%, venha a trazer maiores resultados e que esses 19,3% cresçam ainda mais.

A equipe adota, devido a seu histórico de sucessos em 10 anos de atuação em projetos de ganho de capacidade, um valor de 8% como um bom aumento na produção, então olhando por esse aspecto, o valor alcançado é um grande sucesso para este equipamento. Contudo, sua melhoria também se repercutiu no tempo de processo, o que interfere na sinergia para com os equipamentos seguintes e, para não comprometer os sucessos obtidos com esta primeira parte, se fez necessário uma análise do outro possível “gargalo” do sistema.

4.2 Moagem

Apesar de o gargalo ser a etapa de Dispersão/Emulsão no R-101 com 15 h de duração de operação, ao se aplicar as medidas corretivas propostas no decorrer do trabalho, espera-se que o tempo total de operação da etapa de dispersão caia para 13,1 horas, que é inferior ao tempo atual de processamento da etapa de moagem no equipamento Z-102, 13,2 h (equivalente a 793,8 min).

Logo, apesar de ainda não constituir um problema para a planta, o time de excelência operacional estudou e propôs melhorias para esta etapa de moagem também, já visando evitar que se torne em um novo impedimento ao rendimento da produção, buscando reduzir seu tempo para menor ou igual ao tempo necessário para conclusão da etapa de dispersão.

Por consistir em medidas preventivas de uma situação que ainda não se constitui como problema, não há um cálculo de ganho ou de aumento de produção para essas medidas a serem propostas, porém elas permitirão reduzir o tempo de ocupação e operação do equipamento, fato que, por si só, caracteriza um ganho à empresa.

4.2.1 Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102

Apesar de esta medida já ter sido citada dentre as medidas de melhoria para a etapa de emulsão, o tempo de operação reduzido com essa melhoria também implica numa redução de tempo de operação do moinho Z-102, pois, para que ocorra a transferência de matéria entre os dois equipamentos, é necessário que ambos estejam fora de operação.

Sendo assim, a instalação de uma nova bomba para fazer a transferência da massa reacional do reator para o moinho economizará 8,6 min por operação, o que diminui o ciclo de operação do moinho para 785,2 min, como demonstrado na Tabela 25.

Tabela 25 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 11

	Tempo (min)	Consumo de Tempo
Tempo Inicial	793,8	100%
Redução	- 8,6	- 1,1%
Tempo Final	785,2	98,9%

Fonte: Próprio autor

A Tabela 25 também demonstra que, para o funcionamento normal do equipamento, assumindo que o tempo de ciclo atual é 100% do tempo disponível, o tempo economizado com essa modificação permitirá que o equipamento termine de processar o material com apenas 98,9% do tempo necessário antes. Isso implicaria que, caso haja a necessidade de processar uma maior quantia de produto, ele conseguirá retornar a operar num intervalo de tempo menor.

4.2.2 Medida 12 – Aprimorar rampa de rotação do moinho

Para que um moinho comece a funcionar eficientemente, é necessário que seja atingida uma rotação ideal para aquele caso e que esta seja monitorada para que não haja atrasos entre o momento em que essa rotação é atingida para com o momento em que começa realmente a operar. Porém, no caso dessa planta, a rampa da rotação era conduzida manualmente pelos operadores, se variando o valor de RPM entre cada turno responsável, não tendo nenhuma padronização ou controle eficaz vigente.

Essas instabilidades comprometem o funcionamento dos instrumentos de medição, já antigos, que se distribuem pela linha, levando a leituras poluídas e não confiáveis. Por conta disso, as sugestões de melhoria para esta etapa consistem em padronizar a rampa de

vazão e rotação do moinho, instalando um sistema automatizado de intertravamento entre a rotação da bomba e a pressão máxima ideal, a qual deverá ser padronizada com o engenheiro de processos para este produto. A segunda proposta é substituição dos equipamentos de leitura interligados à bomba para que haja uma leitura mais precisa e confiável, de forma a não comprometer as análises dos parâmetros de processo, tendo sido observado nos processos que a cada 3 funcionamentos do moinho, ocorria 1 ruído grave no equipamento, o qual poderia também se remediar com uma medida de limpeza da leitura pela regulagem do leitor, porém a troca do equipamento seria a abordagem mais eficaz.

Foi observado que, em média, há uma duração de 297 min para o início apropriado para alcançar a vazão e rotação mais eficiente de uso do moinho, porém desse tempo, o sistema de leitura de equipamentos PIMS consta 135 min como ruído e não operação. Logo, essas medidas viriam a eliminar esse tempo, corrigindo o tempo necessário de operação para 658,8 min por ciclo, sendo estimado também, pela Tabela 26, que isso representa uma redução de 17% no tempo consumido necessário para se concluir o ciclo, habilitando sozinho que o processo volte a operar 17% por mais rápido.

Tabela 26 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 12

	Tempo (min)	Consumo de Tempo
Tempo Inicial	793,8	100%
Redução	- 135,0	- 17,0%
Tempo Final	658,8	83,0%

Fonte: Próprio autor

4.2.3 Medida 13 – Redução do tempo de transferência do moinho para tanque

Após o término da moagem e averiguação do tamanho das partículas dentro dos critérios do produto, toda a massa é transferida para o tanque de adensamento B-101. Porém, devido à configuração de instalação atual da planta, essa transferência requer 41 min de máquina parada, ou seja, improdutiva, utilizando tubulação de diâmetro 2” e uma bomba adequada a esse correspondente diâmetro.

Tendo isso em mente, a substituição dessa tubulação por uma de 3”, por exemplo, em sinergia com a instalação de uma bomba de maior capacidade a esse sistema, permitiria que após o término da moagem, a massa fosse transferida toda ao próximo equipamento em

até 20,5 min, diminuindo o tempo de operação do moinho por ciclo para 773,3 min, como demonstrado na Tabela 27.

Tabela 27 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 13

	Tempo (min)	Consumo de Tempo
Tempo Inicial	793,8	100%
Redução	- 20,5	- 2,6%
Tempo Final	773,3	97,4%

Fonte: Próprio autor

4.2.4 Medida 14 – Implementação de um moinho auxiliar

Durante as análises e acompanhamentos, foi observado que a área em que a produção deste fungicida ocorre, comporta um segundo moinho sem comprometer sua logística e infraestrutura, sendo assim, foi recomendada a avaliação de custo com o setor de engenharia para a possibilidade de se obter um segundo moinho para trabalhar em paralelo ao já existente.

A divisão da carga e adequação da seleção de esferas, tal como da rotação, permitirão dividir a carga proveniente do R-101 entre os dois moinhos Z-102 A/B de reduzindo seu tempo pela metade. Isso implicaria numa redução de 396,9 min no tempo de processamento dessa etapa, tal como apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Impacto na duração do ciclo de operação do Z-102 com a implementação da medida 14

	Tempo (min)	Consumo de Tempo
Tempo Inicial	793,8	100%
Redução	- 396,9	- 50,0%
Tempo Final	396,9	50,0%

Fonte: Próprio autor

Essa medida consiste numa possibilidade de ampliação da planta, a qual, mesmo atrelada a um alto custo de investimento, ainda permitiria a ampliação em grande escala da produção anual esperada, seja no *layout* atual ou a futuras mudanças proporcionais que a produção venha a sofrer.

4.2.5 Efeito das medidas – Moagem

A redução principal do tempo da moagem, objetivada pelo time de análise, consiste das Medidas 11 a 13, por serem alterações e aperfeiçoamentos do processo, cujo efeito já reduz o tempo total da etapa de moagem para 629,7 min (aproximadamente 10,5 h), economizando 164 min (aproximadamente 2,7 h), como mostrado na Tabela 29, garantindo que, mesmo com a redução do ciclo da etapa anterior (emulsão) de 15 h para 13,1 h a etapa de moagem continue a não ser um risco ao processo, se mantendo a um ciclo inferior.

Tabela 29 – Resumo dos impactos da Medidas propostas 11, 12 e 13 sob o tempo total do ciclo de operação do moinho Z-102

Medidas	Redução de Tempo (min)	Ciclo (min)
Situação Inicial	-	793,8
Medida 11 – Acelerar transferência de matéria do R-101 ao Z-102	8,6	785,2
Medida 12 – Aprimorar rampa de rotação do moinho	135	650,2
Medida 13 – Redução do tempo de transferência do moinho para tanque	20,5	629,7
Tempo Total Recuperado	- 164,1	-

Fonte: Próprio autor

Porém, caso necessário à planta, ainda é possível aplicar a Medida 14 proposta, a qual, através da aquisição de um novo equipamento de moagem para se dividir a carga e reduzir o tempo de operação. Essa ação viria a reduzir ainda mais o tempo de processo, cortando-o para até 314,9 min por ciclo, como apresentado na Tabela 30, equivalente a 5,2 h, sem comprometer a quantia produzida a cada término de processamento.

Tabela 30 – Impacto da Medida 14 sob o processo previamente otimizado com as medidas 11, 12 e 13 para a melhoria do tempo de ciclo do moinho Z-102

Medidas	Redução de Tempo (min)	Ciclo (min)
Situação Inicial	-	629,7
Medida 14 – Implementação de um moinho auxiliar	314,85	314,85
Tempo Total Recuperado	- 314,85	-

Fonte: Próprio autor

Otimizar o R-101 irá requerer que se otimize também o Z-102, pois, do contrário, assim que as medidas do reator forem aplicadas e seu ciclo cair, o moinho se tornaria o novo

gargalo. Sendo assim, o principal objetivo aqui em trabalhar com este equipamento é reduzir seu tempo de ciclo para abaixo do novo alcançado pela etapa anterior, não havendo a necessidade de reduzi-lo o máximo possível com a última medida devido ao custo agregado que se apresentaria. Mas como uma forma de, além de atender às expectativas do cliente para com o projeto, ainda lhe fornecer uma nova alternativa para futuras necessidades da planta, a equipe decidiu apresentar todos os caminhos possíveis de se tomar.

4.3 Comparação do tempo de ocupação antes e depois das melhorias

Esse conjunto de medidas nos equipamentos impacta diretamente na produção atual da planta com o ganho de 19,3% na capacidade produtiva como apresentado, porém ele também possui uma influência direta na eficiência no uso de equipamentos envolvidos no processo.

A redução no tempo que o equipamento consome para terminar de executar um processamento, uma operação unitária, significa para a planta que sua equipe está conseguindo executar um trabalho mais preciso, com menos desperdícios e erros, conseguindo gerenciar o processo por completo. Essa melhoria também tem outra implicação, que seria, a planta produtiva está conseguindo aproximar o tempo de ocupação com o tempo de operação.

Enquanto o tempo de operação é o tempo que o equipamento necessita para terminar sua operação unitária e estar apto a dar continuidade no processo, o tempo de ocupação é o tempo real em que aquela etapa fica carregada, que ela retém o material antes de prosseguir o processo. O ideal para qualquer produção é igualar o máximo possível os dois, para se ter a máxima produção ou uma maior oportunidade para aumentos e adequações de produção que surjam no cotidiano.

Quadro 6 - Comparativo visual do tempo de ocupação de equipamento antes e após a aplicação das medidas de otimização

Equipamento	Tempo de Operação (h)	Tempo de Trabalho (h)															
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	
R-101 - Inicial	15,39																
R-101 - Otimizado	13,13																
Z-102 - Inicial	13,23																
Z-102 - Otimizado	10,5																

Fonte: Próprio autor

O Quadro 6 apresenta um comparativo visual do tempo antes e pós aplicação das medidas de melhoria propostas em ambos os equipamentos, demonstrando uma clara redução na demora para conclusão das etapas em análise. A Tabela 31 foi utilizada para mensurar a otimização do sistema, obtendo-se uma redução de 3,91 h na duração total do processo, isto através de uma melhoria no tempo de ocupação na etapa de emulsão no R-101 de 15% e na etapa de moagem de 21%.

Tabela 31 - Diferença entre a ocupação dos respectivos equipamentos antes e depois da otimização pelas medidas propostas

Equipamento	Ocupação Inicial (h)	Ocupação Otimizada (h)	Redução (h)	Melhoria (%)
R-101	15,39	13,13	2,26	15%
Z-102	13,23	10,50	2,73	21%

Fonte: Próprio autor

5 Conclusão

O projeto de melhoria na planta de fungicidas estudado nesse trabalho apresentou uma prospecção de oportunidades não ortodoxa, em que, apesar de se utilizar ferramentas Lean, não se ateve a somente um princípio ou linha de raciocínio, buscando avaliar e coletar informações a partir dos dados teóricos, fornecidos pelos equipamentos, e das observações dos colaboradores que trabalham diariamente com aquele sistema em questão.

A equipe de melhoria realizou um estudo completo do sistema, buscando todo equipamento ou processo que poderia estar afetando a eficiência da produção ou que poderia vir a afetar, encontrando a etapa de emulsão como o principal fator limitante e a etapa de moagem como um possível limitante.

A etapa de emulsão, no equipamento R-101, foi estabelecida como principal ponto de melhoria do processo. Esta etapa foi tratada com especial atenção por ser a etapa mais sobrecarregada no processo, estando com o equipamento constantemente ocupado e que contém todo o material a ser processado nas etapas seguintes. Sendo assim, os focos de estudo neste equipamento foram estabelecidos como sendo o tempo de ciclo e eliminação de desperdícios de operação.

A etapa de moagem, a qual foi identificada como possível novo limitante de produção, teve seu estudo focado na duração de seu ciclo. Esse estudo identificou algumas oportunidades objetivas, similares às da etapa anterior, e possibilidades de se preparar não somente para receber uma carga maior de trabalho e um volume superior de produção, mas também como uma possibilidade de ampliação em larga escala do atual sistema produtivo.

As medidas propostas foram consideradas de ação rápida e implementação fácil, simplificando para a empresa sua busca por maior produção imediata com o mínimo de investimento. Se focando em eliminar desperdícios, aprimorar a organização da gestão de processo e otimizar os métodos empregados, fosse com novos instrumentos ou alternando as sequências de se realizar alimentações e procedimentos, o projeto pôde abranger as áreas de caráter técnico, humano e mecânico, buscando suprir qualquer deficiência que possa haver.

De modo geral, foram propostas quatorze possíveis melhorias ao processo. Estas melhorias podem ser aplicadas de forma independente ou conjunta. Constatou-se ainda que, caso estas melhorias sejam aplicadas de forma conjunta, pode ser observado um efeito

sinergético resultando em um acréscimo de volume anual esperado superior ao estimado com base na soma dos ganhos individuais, devido ao fato de uma medida influenciar os ganhos da seguinte e ampliar seus benefícios ao processo.

Sendo assim, como o objetivo inicial do projeto consistia em desenvolver medidas de rápida e fácil implementação para se aumentar a capacidade produtiva de imediato, este estudo pode ser considerado um sucesso, por dois vieses. O primeiro consiste em permitir, com investimento quase mínimo, a ampliação de sua produção em quase 20% do atual em um curto período, atendendo ao aumento da demanda num momento imediato. O segundo seria por ter demonstrado que a planta ainda suporta modificações de maior porte, como a instalação de um novo moinho, e tem capacidade de se sustentar enquanto se amplia e se adequa para atender ao restante da demanda que o projeto sozinho não supriu.

Desta forma, o sucesso do projeto, com o ganho de 19,3%, além do ganho em qualidade, eficiência, confiabilidade e medidas que demonstram a capacidade da planta de suportar mudanças de grande porte, comprovam a eficácia de um trabalho de melhoria contínua na performance da empresa e na introdução de novas possibilidades para o constante crescimento e progresso do negócio.

Referências

- ADHANE, Gereziher W.; KIM, Dong-seong. Distributed control system for ship engines using dual fieldbus. **Computer Standards & Interfaces**, [s.l.], v. 50, p.83-91, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csi.2016.09.003>.
- ATTADIA, Lesley Carina do Lago; MARTINS, Roberto Antonio. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**, São Carlos, v. 13, n. 2, p.33-41, ago. 2003.
- AZEVEDO, Marcelo Teixeira de. **Transformação digital na indústria: Indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. 2017. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sistemas Eletrônicos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- BARBOSA, Natália Bahia. **Copolimerização do estireno e VeoVa: determinação das razões de reatividade e estudo do processo de polimerização em emulsão**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- BERGERMAN, Maurício Guimarães. **Dimensionamento e simulação de moinhos verticais**. 2013. 284 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- CARVALHO, Roni Cesar de. **Projeto de um mini-moinho vibratório auxiliado por técnicas de metodologia de projeto**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CASTRO, Rafaella Morgana Lima de. **EMULSÃO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. 2014. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Farmácia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- CREMASCO, Marco Aurélio. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 2012. 423 p.
- FARJAMI, Toktam; MADADLOU, Ashkan. An overview on preparation of emulsion-filled gels and emulsion particulate gels. **Trends In Food Science & Technology**, Rennes, p.85-94, fev. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224418302279?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

FORTKAMP, Diana. **Metabólitos secundários produzidos por fungos endofíticos isolados de Anthurium alcatrazense e Begonia spp.** 2018. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade de Piracicaba, 2018.

GAMBI, Lilian do Nascimento. **A relação entre cultura organizacional e o uso de técnicas de qualidade e seu impacto no desempenho operacional.** 2014. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Processo e Gestão de Operações, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. **Recommendations for implementing the estrategic initiative INDUSTRIE 4.0.** [s.l.]: Acatech - National Academy Of Cience And Engeneering, 2013. 97 p. Disponível em: <<http://alvarestech.com/temp/tcn/CyberPhysicalSystems-Industrial4-0.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MORORÓ, Bruno Oliveira. **Modelagem sistêmica do processo de melhoria contínua de processos industriais utilizando o método seis sigma e redes de Petri.** 2008. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NAKAJIMA, S.; **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance.** São Paulo: IMC, Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.

OLIVEIRA, Valécia Martins de; SOUSA, Larissa Barbosa de; BISNOTTO, Fabiano Faria; SANTOS, Flávio Marçal dos. PRODUTIVIDADE DE MILHO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES APLICAÇÕES DE FUNGICIDAS. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p.1-6, maio 2011.

PARREIRA, Douglas Ferreira; NEVES, Wânia dos Santos; ZAMBOLIM, Laércio. Resistência de Fungos a Fungicidas Inibidores de Quinona. **Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Viçosa, v. 3, n. 2, p.24-34, 2009.

PUPO, Maurício Santos. **Interface Homem-Máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW.** 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

RIBEIRO, Manuel Joaquim P.m.; ABRANTES, João Carlos Castro. Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo. **Cerâmica Industrial**, Viana de Castelo, Portugal, v. 2, n. 6, p.7-11, abr. 2001.

ROGÉRIO GERMANI. **Moagem.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000f_id5sgie02wyiv80z4s473y1hai57.html>. Acesso em: 28 abr. 2019.

RON, A. J., RODA, J. E.; **Equipment Effectiveness: OEE Revised. IEEE Transactions on semi-conductor manufacturing**, Volume 18, No.1, 2005.

SANTOS, Rosana F. S. dos; SILVA, Selênio Rocha. SENSIBILIDADE DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 5., 2003, Aracaju. **Anais...** p. 511 - 513.

SHEREVE, R. N.; BRINK, J. A. *Indústria de processos químicos*. 4. ed. Trad. MACEDO, H. Rio de Janeiro: Guanabara, 1977.

SHINGO, Shigeo. **Kaizen e a Arte do Pensamento Criativo**. Porto Alegre, RS: Artmed Editora S.A., 2010. 252 p.

STEFANELO, Maurício S., SARI, Bruno G., LENZ, Giuvan; ARRUÉ, Adriano; PES, Maiquel Pizzuti; COSTA, Ivan F. D. da. Caracterização Da Pulverização De Fungicida Na Cultura Do Trigo Com Pontas Hidráulicas E Atomizadores Rotativos De Discos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 5, n. 34, p.1012-1018, set. 2014.

THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM, OEE for operators. Shopfloor Series; University Press, 1999.

YASSUE, Rafael Massahiro. **Tolerância da soja à ferrugem asiática em dialelo multivariado e ambientes contrastantes de fungicidas**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

ZANON, A. B. **Aspecto Teórico e prático sobre a avaliação da estabilidade de emulsão manipuladas em farmácia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.