

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

CAIQUE CESAR LIGABO

Aumento da eficiência dos transportadores de uma linha de envase de cerveja
utilizando o método PDCA

LORENA
2020

CAIQUE CESAR LIGABO

Aumento da eficiência dos transportadores de uma linha de envase de cerveja
utilizando o método PDCA

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Yujiro Shigue

LORENA

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA 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)

Ligabo, Caique Cesar

Aumento da eficiência dos transportadores de uma linha de envase de cerveja utilizando o método PDCA / Caique Cesar Ligabo; orientador Carlos Yujiro Shigue. - Lorena, 2020.
96 p.

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

1. Cerveja. 2. Linha de envase. 3. Transportadores. 4. Eficiência. 5. Pdca. I. Título. II. Shigue, Carlos Yujiro, orient.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter-me concebido sabedoria, forças e encorajamento para começar, recomeçar e manter-me firme nos meus propósitos.

Agradeço aos meus pais Carlos Cesar e Claudia pelo amor, incentivo e apoio incondicional durante todos esses anos da minha formação acadêmica.

Agradeço aos meus irmãos Guilherme e Tallis, as próprias personificações de companheirismo e força.

Agradeço aos demais familiares, em especial às minhas queridas tias Vitória e Helena, pelo incentivo e dedicação que sempre tiveram por mim.

Agradeço aos meus professores pelos ensinamentos que contribuíram muito para o meu crescimento pessoal e profissional. Em especial, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Yujiro Shigue por toda dedicação e compromisso na orientação desse trabalho.

Agradeço aos meus ex-supervisores Walter e Douglas pela confiança, apoio, suporte e amizade durante todo o curso de execução desse projeto.

Por fim, sou grato também a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram na realização desse trabalho.

EPÍGRAFE

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”.

(José de Alencar)

RESUMO

LIGABO, Caique Cesar. **Aumento da eficiência dos transportadores de uma linha de envase de cerveja utilizando o método PDCA**. 2020. 96 p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Industrial Química – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

Elementos responsáveis por interligar os vários equipamentos de uma linha de produção e promover a movimentação de materiais em quantidades relativamente grandes entre localizações específicas, os transportadores são fundamentais para a produção das fábricas e interferem diretamente na eficiência de uma linha produtiva. O objetivo principal desse trabalho foi aumentar a eficiência dos transportadores de uma linha de envase de cerveja utilizando o método de solução de problemas PDCA. Para o desenvolvimento do trabalho, a metodologia adotada foi a pesquisa-ação, que permitiu um aprimoramento de vários aspectos relacionados ao tema da dissertação a partir de reflexões críticas e analíticas de resultados obtidos durante o curso de execução das ações. Inicialmente, foi usado como fonte inicial de dados um relatório obtido do banco de dados da empresa contendo informações históricas a respeito da eficiência de todos os equipamentos da linha produtiva em estudo. Em seguida, as ferramentas da qualidade Estratificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT, Cinco Porquês e 5W1H foram empregadas para definir, mensurar, analisar e propor soluções para os problemas dos elementos transportadores identificados e que interferiam no rendimento da linha de produção em análise. Problemas esses relacionados a modulação, concentração de sabão, coeficiente de atrito, perfil lateral, componentes mecânicos, execução da manutenção preventiva e lubrificação. Por fim, uma comparação entre a eficiência dos transportadores antes e após a implementação das ações foi realizada para comprovar a eficácia do método empregado na análise e solução do problema e a exatidão das ações traçadas e executadas. Como resultado, conquistou-se um ganho de eficiência de 6,22%, que representa um aumento de produção de mais de 140 mil garrafas por dia, e uma redução expressiva no número de garrafas tombadas, com ganho ecológico e um conseqüente ambiente de trabalho mais seguro.

Palavras-chave: cerveja, linha de envase, transportadores, eficiência, PDCA

ABSTRACT

LIGABO, Caique Cesar. **Increase the efficiency of conveyors in a beer packaging line using the PDCA method.** 2020. 96 p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Industrial Química – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

Elements responsible for interconnecting the various equipment of a production line and promoting the movement of materials in relatively large quantities between specific locations, the conveyors are fundamental for the production of the factories and directly interfere in the efficiency of a production line. The main objective of this work was to increase the efficiency of conveyors in a beer packaging line using the PDCA problem solving method. For the development of the work, the methodology adopted was the action research, which allowed an improvement of several aspects related to the theme of the dissertation from critical and analytical reflections of results obtained during the execution course of the actions. Initially, a report obtained from the company's database containing historical information regarding the efficiency of all equipment on the production line under study was used as the initial source of data. Then, the tools of quality Stratification, Pareto Graph, Ishikawa Diagram, GUT Matrix, Five Whys and 5W1H were used to define, measure, analyze and propose solutions to the conveyor problems identified and which interfered in the performance of the production line under analysis. Problems related to modulation, concentration of soap, friction coefficient, side profile, mechanical components, execution of preventive maintenance and lubrication. Finally, a comparison between the efficiency of the conveyors before and after the implementation of the actions was carried out to prove the effectiveness of the method used in the analysis and solution of the problem and the accuracy of the actions traced and executed. As a result, an efficiency gain of 6,22% was achieved, which represents an increase in production of more than 140 thousand bottles per day, and a significant reduction in the number of bottles dropped, with ecological gains and a consequent safer work environment.

Keywords: beer, packaging line, conveyors, efficiency, PDCA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de processo de uma linha de envase de cerveja	21
Figura 2 - Princípio de funcionamento de uma despaletizadora	22
Figura 3 - Esquema de funcionamento do rinser	23
Figura 4 - Etapas de enchimento de uma garrafa de cerveja	24
Figura 5 - Processo de arrolhamento	25
Figura 6 - Pasteurizador em túnel	27
Figura 7 - Princípio de funcionamento de uma rotuladora	28
Figura 8 - Tipos de embalagem multipack	29
Figura 9 - Princípio de funcionamento de uma empacotadora	30
Figura 10 - Esquema de funcionamento de uma paletizadora.....	31
Figura 11 - Transportador de roletes.....	33
Figura 12 - Transportador de esteiras.....	34
Figura 13 - Transportador de correntes	35
Figura 14 - Transportador de correntes metálicas operando em paralelo	36
Figura 15 - Fatores de utilização de uma linha de produção	38
Figura 16 - Seis Principais Grandes Perdas dos equipamentos produtivos	42
Figura 17 - Representação gráfica do diagrama de Ishikawa.....	52
Figura 18 - Esquema das etapas da pesquisa-ação.....	57
Figura 19 - Gráfico de Ineficiência dos equipamentos da linha de envase - Nov. 2018	61
Figura 20 - Gráfico de Ineficiência dos Transportadores - Nov. 2018.....	62
Figura 21 - Diagrama de Pareto de ineficiência por trecho de transporte.....	63
Figura 22 - Diagrama de Pareto de ineficiência por componentes do transporte .	64
Figura 23 - Diagrama de Ishikawa do componente Inversor de Frequência.....	65
Figura 24 - Diagrama de Ishikawa do componente Guia	66
Figura 25 - Diagrama de Ishikawa do componente Esteira	66
Figura 26 - Ilustração de um típico problema de Modulação	73
Figura 27 - Fatores de velocidade típicos de um motor de transporte	74
Figura 28 - Padronização da posição das guias laterais.....	75
Figura 29 - Uso do dinamômetro para determinação do coeficiente de atrito	76
Figura 30 - Bombas dosadoras de sabão com cadeados duplos	77
Figura 31 - Problema de garrafas tombando nos perfis laterais	78

Figura 32 - Perfil lateral sem salva-rótulos	79
Figura 33 - Perfil lateral com salva-rótulos	79
Figura 34 - Perfil lateral com falha na emenda	80
Figura 35 - Perfil lateral com inclinação irregular	80
Figura 36 - Mapeamento dos transportes da linha de envase de cerveja	81
Figura 37 - Gerenciamento dos passivos de transportes baseado em cores	82
Figura 38 - Exemplo de um problema mecânico crítico de transporte	84
Figura 39 - Trecho de transporte após execução da manutenção.....	84
Figura 40 - Exemplo de mancal danificado por falta de lubrificação.....	85
Figura 41 - Pontos que necessitam lubrificação no trecho de transporte Enchedora - Pasteurizador.....	86
Figura 42 - Gráfico de Ineficiência dos equipamentos da linha de envase - Nov. 2019	87
Figura 43 - Comparação de Ineficiência dos Transportadores - Início do Projeto e após execução do Plano de Ação.....	88
Figura 44 - Acompanhamento do Rendimento Próprio dos transportadores.....	89
Figura 45 - Gráfico de acompanhamento de garrafas tombadas.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estratégias de prevenção e eliminação das perdas dos equipamentos produtivos.....	43
Quadro 2 - Exemplo de cálculo do rendimento próprio de uma linha produtiva ...	44
Quadro 3 - Modelo conceitual de Matriz GUT	53
Quadro 4 - Matriz GUT das causas do Inversor de Frequência.....	67
Quadro 5 - Matriz GUT das causas do Guia	67
Quadro 6 - Matriz GUT das causas da Esteira	67
Quadro 7 - Cinco Porquês utilizado para analisar as causas dos problemas dos transportadores	69
Quadro 8 - Plano de Ação elaborado utilizando a ferramenta 5W1H	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
1.3	OBJETIVO GERAL.....	14
1.4	OBJETIVO ESPECÍFICO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	CERVEJA	15
2.1.1	Produção do Líquido	15
2.1.1.1	Produção do Mosto.....	15
2.1.1.2	Fermentação e Maturação.....	17
2.1.1.3	Filtração e Carbonatação	19
2.1.2	Envase da Cerveja	20
2.1.2.1	Despaletizadora.....	21
2.1.2.2	Rinser	22
2.1.2.3	Enchedora	24
2.1.2.4	Arrolhador	25
2.1.2.5	Pasteurizador.....	26
2.1.2.6	Rotuladora	27
2.1.2.7	Empacotadora	28
2.1.2.8	Paletizadora.....	31
2.1.2.9	Envolvedora.....	32
2.2	TRANSPORTADORES	32
2.2.1	Transportador de roletes	33
2.2.2	Transportador de esteiras	34
2.2.3	Transportador de correntes	35
2.3	INDICADORES DE DESEMPENHO	37
2.3.1	Produtividade	38
2.3.2	Eficiência de Linha	39
2.3.3	Eficiência Total dos Equipamentos	40
2.3.4	Rendimento Próprio e Ineficiência	44
2.4	O MÉTODO PDCA	45

2.4.1	Fase 1 do PDCA - Planejamento	45
2.4.2	Fase 2 do PDCA - Execução	46
2.4.3	Fase 3 do PDCA - Verificação.....	46
2.4.4	Fase 4 do PDCA - Validação	47
2.5	FERRAMENTAS DA QUALIDADE	47
2.5.1	Estratificação	49
2.5.2	Diagrama de Pareto	49
2.5.3	<i>Brainstorming</i>	50
2.5.4	Diagrama de Ishikawa	51
2.5.5	Matriz GUT	53
2.5.6	Cinco Porquês	54
2.5.7	5W1H.....	55
3	MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1	FASE DE PLANEJAMENTO	58
3.2	FASE DE EXECUÇÃO	59
3.3	FASE DE VERIFICAÇÃO	60
3.4	FASE DE VALIDAÇÃO	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1	FASE 1: PLANEJAMENTO	61
4.1.1	Identificação e observação do problema	61
4.1.2	Apuração das Causas	65
4.1.3	Priorização das Causas	66
4.1.4	Análise das Causas	68
4.1.5	Elaboração do Plano de Ação	70
4.2	FASE 2: EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO	73
4.2.1	Modulação e Parâmetros dos Inversores.....	73
4.2.2	Concentração de Sabão e Coeficiente de Atrito.....	75
4.2.3	Perfil Lateral	77
4.2.4	Componentes Mecânicos e Execução da Manutenção Preventiva ...	81
4.2.5	Lubrificação	85
4.3	FASE 3: VERIFICAÇÃO	87
4.4	FASE 4: VALIDAÇÃO	91
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

REFERÊNCIAS.....	93
ANEXO A.....	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente, a cerveja é a terceira bebida mais popular do mundo, ficando atrás somente da água e do chá. O Brasil é o terceiro maior fabricante mundial, com 13,3 bilhões de litros produzidos, atrás, somente, da China (46 bilhões) e dos Estados Unidos (22,1 bilhões) (SINDICERV, 2016).

Em um mercado em constante crescimento, enquanto as organizações estão a lutar para se sobressaírem em um intenso ambiente competitivo, seus processos produtivos são constantemente ameaçados por falhas inesperadas que levam a paragens de emergência e ao não cumprimento do plano de produção.

Assim, qualquer empresa que queira manter-se no mercado deve garantir que todos os seus recursos físicos, máquinas e equipamentos, estejam disponíveis e trabalhando a plena capacidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em uma linha de envase de cerveja o desafio de manter tudo funcionando em plena capacidade se mostra ainda maior pois, uma vez que é composta por vários equipamentos em série, a quebra ou falha de qualquer equipamento compromete toda a cadeia de produção.

Responsáveis pela interligação de todos os equipamentos dentro de uma linha de produção, promovendo assim o deslocamento dos produtos ao longo de todas as etapas do processo produtivo, os transportadores se mostram elementos cruciais para o bom desempenho da cadeia produtiva.

Como não são vistos e nem tratados como máquinas, na maioria das vezes são esquecidos e não recebem a atenção que precisam. No entanto, uma quebra inesperada de um transportador tem o poder de paralisar toda uma linha de produção.

Com base na análise da eficiência de todos os equipamentos de uma linha de envase de uma cervejaria dentro de um período de tempo, constatou-se que um dos maiores impactos na ineficiência da linha produtiva provinha de transportadores. Somado a isso, esses transportadores também operavam com um

alto índice de garrafas tombadas, impactando diretamente na eficiência da linha e proporcionando uma condição insegura muito crítica para a área.

Uma vez que as máquinas de uma linha de envase de cerveja só operam sob a condição de possuir garrafas na posição vertical em sua entrada, garrafas tombadas geram pequenas paradas nesses equipamentos, impactando diretamente na eficiência da linha de produção. Quando cheias, ao chegarem tombadas e se chocarem umas com as outras na entrada das máquinas, possuem o agravante de provocar explosões com a projeção de cacos de vidro, gerando uma condição insegura para a linha.

Assim, o entendimento sobre os problemas que impactam no perfeito funcionamento dos elementos transportadores de uma linha de envase, juntamente com o direcionamento de ações, se mostram essenciais para que a linha produtiva ganhe confiabilidade, aumente sua produtividade e eficiência e se torne mais segura.

1.3 OBJETIVO GERAL

Aumentar a confiabilidade e a eficiência e diminuir o índice de garrafas tombadas dos transportadores de uma linha de envase de cerveja utilizando o método de solução de problemas PDCA.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Descrever o funcionamento dos equipamentos de uma linha de envase de cerveja e a importância dos elementos transportadores dentro do processo produtivo.
- Aplicar as ferramentas da qualidade estratificação, brainstorming, gráfico de Pareto, diagrama de Ishikawa, matriz GUT, cinco porquês e 5W1H para identificar, analisar e direcionar ações para os problemas levantados.
- Acompanhar a evolução dos resultados por meio do cálculo do rendimento próprio dos transportadores e pela quantidade de garrafas tombadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CERVEJA

A cerveja, provavelmente descoberta de forma acidental há 11 mil anos atrás, ganhou o paladar e os corações de praticamente todos os povos que com ela tiveram contato tornando-se a bebida alcoólica mais consumida em todo o mundo na atualidade (SINDICERV, 2019).

Estudos indicam que os primeiros indícios do surgimento da cerveja datam em 8000 a.C. Na antiguidade a bebida difundiu-se entre os povos da Suméria, Babilônia e Egito, chegando ao Brasil apenas em 1808 trazida pela família real Portuguesa (MEGA; NEVES; ANDRADE, 2011).

Obtida da fermentação do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação de leveduras, com adição de lúpulo, podendo-se parte do malte de cevada ser substituído por adjuntos cervejeiros (BRASIL, 2009), a cerveja pôde verdadeiramente atingir uma larga escala de fabricação a partir da Revolução Industrial, em que fábricas cada vez maiores se estabeleceram na Inglaterra, Alemanha e no Império Austro-Húngaro (MEGA; NEVES; ANDRADE, 2011).

Rosa (2013), de um modo geral, divide o processo de fabricação da cerveja em duas etapas: produção do líquido e envase da cerveja.

2.1.1 Produção do Líquido

De acordo com Venturini e Cereda (2001), o processo de produção do líquido também pode ser dividido em três fases: produção do mosto, fermentação e maturação e filtração e carbonatação.

2.1.1.1 Produção do Mosto

Segundo Santos e Ribeiro (2005), o processo de produção do mosto cervejeiro inicia-se com a moagem dos grãos de malte. Visando romper a casca dos grãos e expor o amido contido em seu interior, os grãos de malte são submetidos a ação de moinhos que podem ser de dois tipos: martelo ou rolos.

Após a etapa de moagem, de acordo com Venturini e Cereda (2001), os grãos de malte moídos são misturados com água aquecida em um processo chamado de mosturação, visando ativar a ação das enzimas presentes nesses grãos. Segundo Santos e Ribeiro (2005), estas enzimas agem quebrando as substâncias complexas e insolúveis em outras substâncias menores, solúveis em água. Ainda de acordo com Santos e Ribeiro (2005), no processo de mosturação

[...] as proteínas são convertidas em peptídeos e outros complexos orgânicos nitrogenados, e posteriormente em aminoácidos, enquanto os amidos são quebrados em moléculas de glicose, maltose e dextrinas, assimiláveis pelas leveduras que realizarão a fermentação posteriormente.

Quando se faz uso de adjunto (ou *gritz*), de acordo com Venturini e Cereda (2001), a mosturação é feita pelo processo de infusão por duas massas e utiliza-se dois tanques para a produção do mosto cervejeiro. Na tina de mostura a maceração do malte é realizada aquecendo-se a água até 65°C, enquanto na caldeira de caldas o adjunto é misturado à água na temperatura de 120°C (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Ainda de acordo com Santos e Ribeiro (2005), após a fervura o conteúdo da caldeira de caldas é adicionado à tina de mostura dando origem a um líquido turvo e grosso chamado de mosto.

O mosto obtido no processo de mosturação ainda contém bagaço de malte, assim, de acordo com Santos e Ribeiro (2005), ele é resfriado de 80-100°C até cerca de 75-78°C e em seguida filtrado para remoção da parte sólida. Segundo Venturini e Cereda (2001) essa filtração normalmente é feita em duas etapas: filtração do mosto primário e lavagem do bagaço. Na primeira, as próprias cascas do malte presentes no mosto agem como leito filtrante e a fração líquida da mistura simplesmente atravessa esse leito dando origem ao mosto primário. Na segunda, o leito filtrante é lavado com água com a finalidade de recuperar o extrato que ficou retido na torta de filtro. Essa torta de filtro obtida é recuperada e vendida na forma de subproduto para fazendeiros como alimento animal (VENTURINI; CEREDA, 2001).

O mosto primário, produto do processo de filtração, é então aquecido na caldeira de fervura para se obter uma estabilidade biológica, bioquímica e coloidal (VENTURINI; CEREDA, 2001). Segundo Santos e Ribeiro (2005), é nessa fase

também que se adiciona lúpulo, caramelo e outros aditivos que proporcionam as características organolépticas típicas de cada tipo de cerveja.

Terminado a fervura, é imprescindível efetuar a clarificação do mosto antes da fermentação, pois a presença de resíduos remanescentes de bagaço e proteínas coaguladas podem comprometer a qualidade da fermentação. Esse processo de clarificação normalmente é realizado em um tanque de decantação denominado whirlpool que é um tanque circular que separa as proteínas e outras partículas por efeito centrífugo. O resíduo sólido obtido nessa etapa é chamado de trub grosso (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

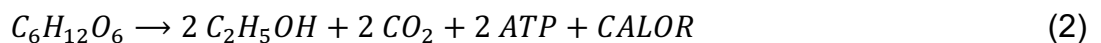
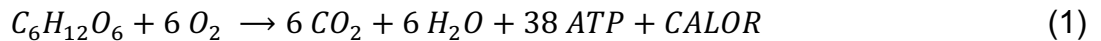
Após a etapa de clarificação, o mosto clarificado é então submetido a um processo de resfriamento que tem como objetivo adequar a temperatura do líquido àquela necessária para a inoculação do fermento, que é de 6 a 12°C na baixa fermentação e 14 a 16°C na alta fermentação. O resfriamento também contribui na eliminação de substâncias que podem causar turbidez na cerveja e possibilita a adequada aeração do mosto que é essencial para o bom desempenho das leveduras na etapa de fermentação alcoólica. Após o líquido ser aerado com ar estéril, ele é então transferido ao tanque de fermentação (VENTURINI; CEREDA, 2001).

2.1.1.2 Fermentação e Maturação

A etapa da fermentação alcoólica, processo central de uma indústria cervejeira, tem-se início com a adição de fermento ao mosto cervejeiro (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Segundo Venturini e Cereda (2001), apesar de a quantidade de fermento a ser adicionada deva ser tal que resulte em uma concentração ótima, na maioria dos casos, de 10^7 células de fermento por mililitro de mosto, ela também varia de acordo com o nível de aeração, temperatura, teor de extrato e composição do mosto.

De acordo com Santos e Ribeiro (2005), o processo de fermentação do mosto pode ser dividido em duas etapas: etapa aeróbia e etapa anaeróbia. Na primeira etapa e sob a presença de oxigênio, as leveduras se reproduzem aumentando de quantidade (equação 1). Em seguida, sob condições de anaerobiose, as leveduras fermentam as moléculas de açúcares presentes no mosto produzindo etanol, gás carbônico e energia (equação 2). Venturini e Cereda

(2001) complementam dizendo que essas duas vias metabólicas são importantes, uma vez que a respiratória promove o crescimento e revigoramento do fermento no início do processo de fermentação e a fermentativa promove a transformação do mosto em cerveja.



O processo de fermentação da cerveja, de acordo com Venturini e Cereda (2001), pode acontecer tanto por processos contínuos quanto por processos descontínuos (batelada). No entanto, devido aos elevados custos operacionais envolvidos, pela dificuldade em se controlar as contaminações causadas por bactérias lácticas e selvagens e pela dificuldade em se obter uma cerveja com elevada qualidade sensorial, os processos contínuos têm sido abandonados e os processos em batelada, que possibilitam um maior controle operacional, amplamente empregados.

De acordo com Venturini e Cereda (2001), nos processos em batelada o tipo de levedura empregada determina o tipo de fermentação, que pode ser do tipo alta ou baixa.

Na alta fermentação faz-se uso das leveduras tipo “ale”, os fermentadores são construídos em aço inoxidável, possuem seção retangular e capacidade máxima de 500 hL. A atividade fermentativa é evidenciada pela formação de espuma de coloração castanha e pelo desprendimento de CO₂. Como característica desse tipo de fermentação têm-se: temperaturas de processo entre 20 e 25°C e as leveduras tendendo a subir para a superfície do fermentador no fim do processo fermentativo (VENTURINI; CEREDA, 2001).

Na baixa fermentação faz-se uso das leveduras tipo “lager”, os fermentadores são construídos em aço inoxidável, possuem a forma cilíndrica, fundo cônico e capacidade que pode ultrapassar 10.000 hL. A atividade fermentativa é evidenciada pela formação de uma espuma com forma semelhante a cabeça de uma de couve-flor (denominada “krausen”) e pelo desprendimento de CO₂. Como característica desse tipo de fermentação têm-se: temperaturas de

processo entre 10 e 15°C e as leveduras decantando na base cônica do fermentador no fim do processo fermentativo (VENTURINI; CEREDA, 2001).

Como produto do processo fermentativo, que dura em média de 6 a 9 dias, obtém-se o mosto fermentado, uma grande quantidade de CO₂, que será reutilizado na etapa de carbonatação após ser purificado, e também um excesso de levedos, os quais são levados para tratamento e estocagem, sendo parte reutilizada em bateladas de fermentação subsequentes e parte vendida para a indústria de alimentos (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Ao final do processo de fermentação dá-se início ao processo de maturação, que Rosa (2013) define como uma continuação do processo de fermentação no qual a cerveja é mantida em repouso para adquirir as características sensoriais e teor alcoólico desejados. Santos e Ribeiro (2005) pontuam que a maturação também promove a separação de microrganismos e substâncias presentes na cerveja além de auxiliar na estabilização do produto final quanto a saturação com CO₂.

De acordo com Linko et al. (1998), apesar da maturação ser necessária e importante, poucas mudanças ocorrem nessa etapa, sendo o diacetil o componente chave a ser controlado. Formado como subproduto na etapa de fermentação, o diacetil é um composto indesejável porque é o responsável por conferir o desagradável sabor de manteiga a cerveja. Sendo assim, a concentração desse composto deve estar abaixo do nível de detecção que é de 0,05 mg/L.

Como a concentração do diacetil está muito acima do nível mínimo de detecção no final da etapa de fermentação, é durante a etapa de maturação que se consegue diminuir a concentração desse composto. Essa diminuição acontece de forma bastante lenta, e quando se atinge um nível aceitável de concentração, diz-se que a cerveja está maturada (LINKO et al., 1998).

2.1.1.3 Filtração e Carbonatação

Mesmo após a etapa de maturação ainda existem impurezas que não decantaram e que permanecem em suspensão na cerveja maturada. Assim, realiza-se uma etapa de filtração que tem como objetivo a remoção dessas impurezas e com isso proporcionar uma maior limpidez ao produto final (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

De acordo com Venturini e Cereda (2001), os tipos de filtros mais comumente utilizados pelas cervejarias na filtração da cerveja maturada são os filtros de terra diatomácea e os filtros de membrana. No entanto ainda segundo Venturini e Cereda (2001), independente do filtro a ser utilizado alguns cuidados devem ser tomados para evitar perda de gás carbônico, incorporação de oxigênio e contaminação microbiológica do produto final. Como resíduo sólido dessa etapa de filtração obtém-se o *trub* fino que possui um alto teor nitrogenado (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Ao final do processo, como o teor de CO₂ existente na cerveja não é suficiente para atender as especificações, faz-se necessário uma etapa de carbonatação com injeção de CO₂ gerado na etapa de fermentação antes de enviar a cerveja para os tanques de armazenamento final (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Segundo Venturini e Cereda (2001), tal carbonatação pode ser realizada tanto na tubulação de transferência da cerveja filtrada para os tanques de armazenamento final (carbonatação em linha), como no próprio tanque de armazenamento final por meio de um difusor localizado em seu fundo (carbonatação em tanque).

Após a carbonatação, a cerveja é então mantida nos tanques de armazenamento final sob condições controladas de temperatura e pressão até o envase (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

2.1.2 Envase da Cerveja

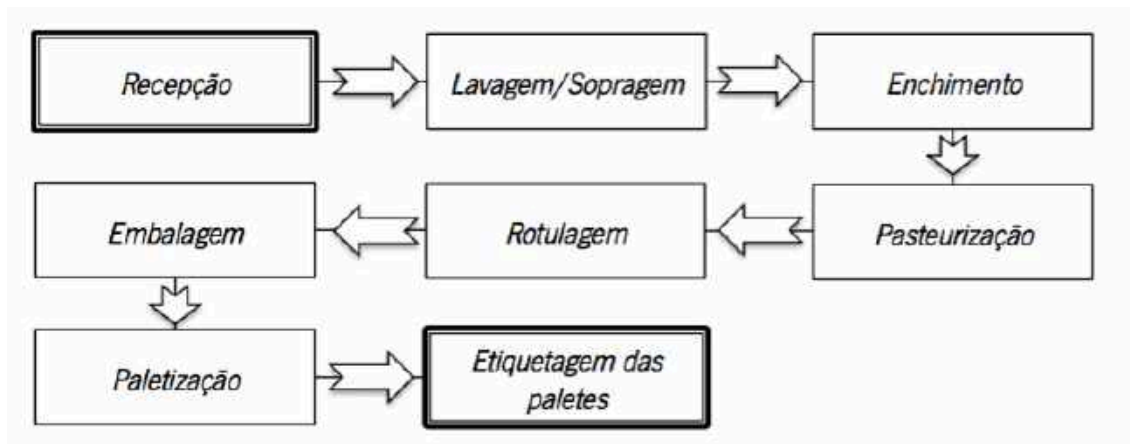
O envase é a etapa final do processo de produção na qual a cerveja é envasada em garrafas de vidro, vasilhames de alumínio e barris para chope. De acordo com Santos e Ribeiro (2005) é o setor de uma cervejaria com o maior número de funcionários, que possui equipamentos de maior complexidade mecânica e com maior índice de manutenção.

Uma linha de envase, também chamada de linha de *packaging*, envolve uma série ordenada de processos que se inicia com o recebimento de vasilhames vazios e termina com a entrega desses vasilhames cheios e empacotados aos operadores logísticos, que cuidarão da estocagem desse produto no armazém da empresa (ESTEVES, 2012).

Uma visão global dos diferentes processos contemplados em uma linha comum de envase de uma cervejaria pode ser visto na figura 1. No entanto, é

importante destacar que dentro de uma cervejaria, cada linha de produção possui suas particularidades e equipamentos específicos que, por exemplo, variam em função do vasilhame a ser utilizado no envase da cerveja e da forma como será feito o empacotamento final.

Figura 1 - Esquema de processo de uma linha de envase de cerveja



Fonte: (ESTEVES, 2012)

Uma linha de envase de cerveja em garrafas de vidro descartáveis (garrafas *long neck*) comumente contempla os seguintes processos/equipamentos: despaletizadora, rinser, enchedora, arrolhador, pasteurizador, rotuladora, empacotadora, paletizadora e envolvedora.

2.1.2.1 Despaletizadora

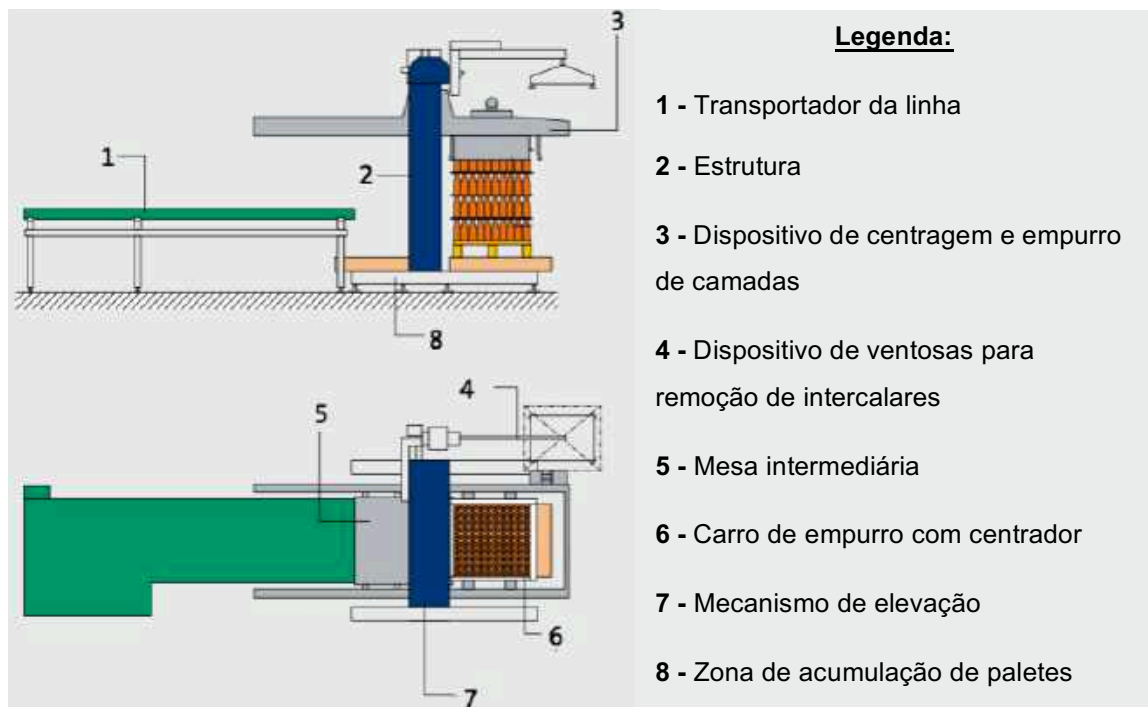
De acordo com Esteves (2012), a despaletizadora, ilustrada na figura 2, é o primeiro equipamento de uma linha de envase e sua função é transpor as garrafas novas e vazias que estão agrupadas sob a forma de camadas em um palete para um transportador e assim alimentar a linha de produção.

Segundo Lowe e Elkin (1986), os paletes de garrafas vazias provenientes do fornecedor são apresentados à despaletizadora diretamente por empilhadeiras. Após serem despaletizadas e empurradas para os transportadores da linha, as garrafas são então transportadas em filas simples ou múltiplas para a etapa de enxague.

Esteves (2012) divide o processo de despaletização em 4 etapas consecutivas:

- a) remoção manual do filme plástico que envolve e protege o palete;
- b) avanço semiautomático do palete para o interior da despaletizadora;
- c) arraste automático de camadas completas de garrafas do palete para o transportador (despaletização);
- d) remoção do elemento separador de camadas, também conhecido como *chapatex*, por meio de um sistema de ventosas.

Figura 2 - Princípio de funcionamento de uma despaletizadora



Fonte: (ESTEVES, 2012)

2.1.2.2 Rinser

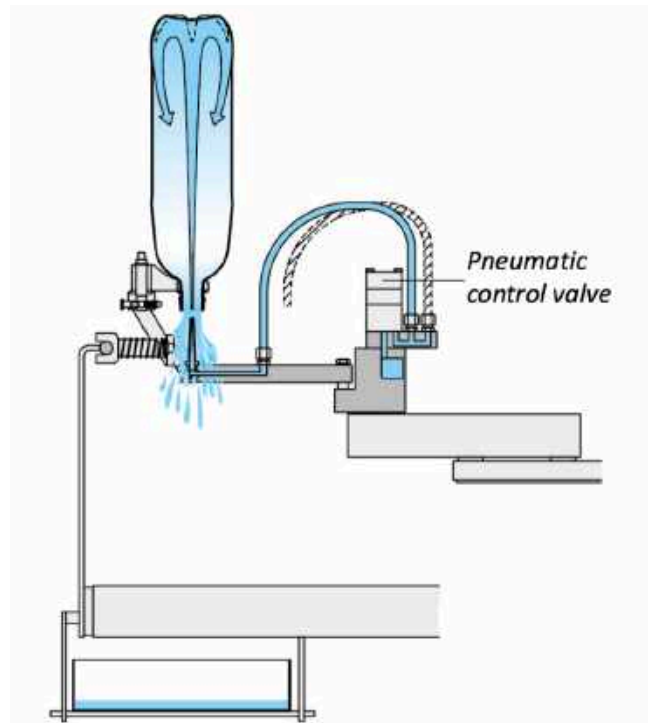
Tanto no processo de fabricação do vidro quanto no transporte, as garrafas podem ser contaminadas com poeira ou até mesmo outros resíduos. Assim, após a despaletização, as garrafas são encaminhadas por meio de transportadores até o rinser (ESTEVES, 2012).

De acordo com Lowe e Elkin (1986), garrafas novas, incluindo as não retornáveis, se corretamente transportadas e manipuladas, requerem apenas um enxague simples com água estéril seguido de drenagem completa. Já as garrafas retornáveis sujas são limpas com muito mais rigor, e tal procedimento é realizado em equipamentos chamados de lavadoras.

O enxague simples (rinsagem) feito nas garrafas novas é realizado em um equipamento rotativo chamado rinser que possui a função de retirar todas as impurezas existentes no interior das garrafas e garantir total esterilização antes do enchimento (ESTEVES, 2012).

O esquema de como ocorre a rinsagem das garrafas é ilustrado na figura 3. As garrafas na posição vertical chegam até o equipamento, o qual aplica um giro de 180° nelas por meio de garras e movimento rotativo, injetando sob pressão água e posteriormente ar para promover a esterilização necessária antes da etapa de enchimento.

Figura 3 - Esquema de funcionamento do rinser



Fonte: (KRONES, 2019)

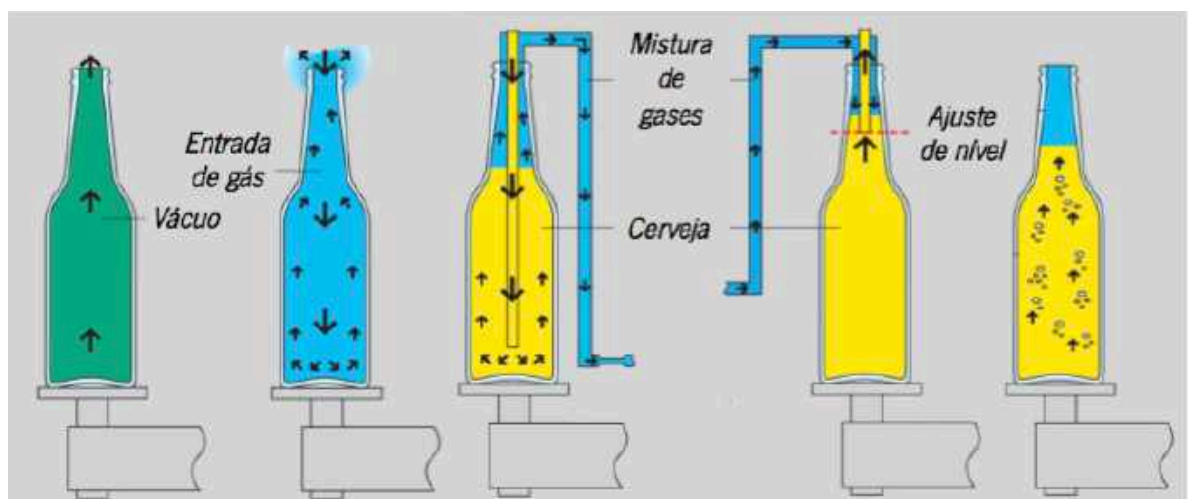
2.1.2.3 Enchedora

De acordo com Lowe e Elkin (1986), a etapa de enchimento é o coração de uma linha de envase de cerveja, pois sintetiza o objetivo principal de toda a planta que é o de envasar cerveja. Segundo Esteves (2012), essa etapa que promove a transferência da cerveja armazenada para o interior das garrafas ocorre no equipamento conhecido como enchedora.

De acordo com Esteves (2012), apesar de uma aparente simplicidade, o processo de enchimento é extremamente complexo devido as inúmeras fases que o constituem. Ilustradas na figura 4, Esteves (2012) divide de forma sumária a etapa de enchimento em cinco fases:

- Pressurização;
- Evacuação e contra pressurização;
- Enchimento;
- Ajuste no nível de enchimento;
- Despressurização.

Figura 4 - Etapas de enchimento de uma garrafa de cerveja



Fonte: Adaptado de Blüml (2009)

Segundo Lowe e Elkin (1986), é essencial que a transferência da cerveja da enchedora para a garrafa ocorra com o mínimo de perturbação e sob pressão para garantir a correta pressão de equilíbrio e evitar que o CO₂ saia da cerveja. Ainda

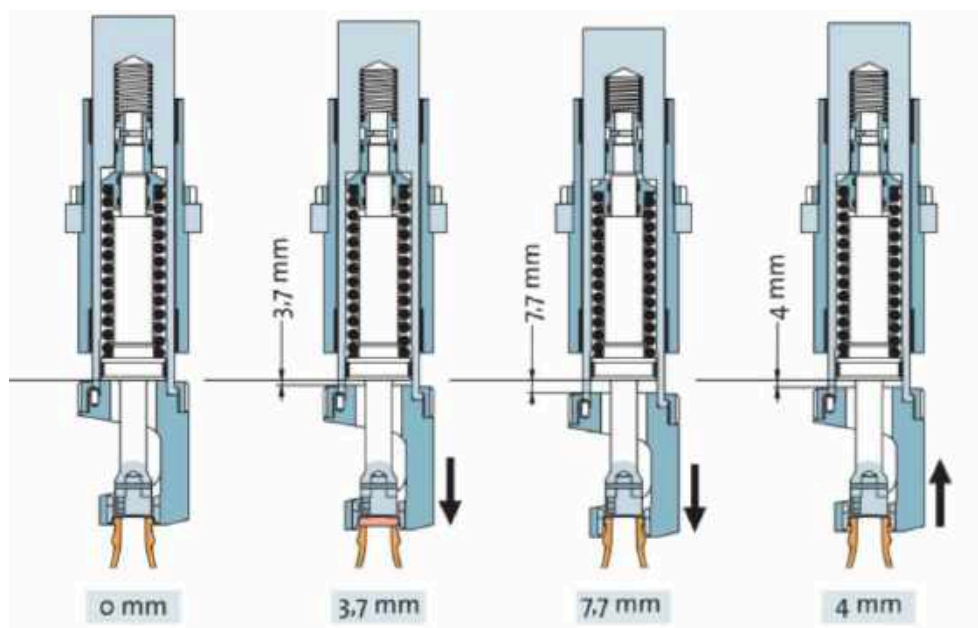
de acordo Lowe e Elkin (1986), outro principal risco de qualidade no envase de garrafas é a absorção de oxigênio, pois altera o sabor, a neblina e a estabilidade. Portanto, o contato prolongado ou perturbado com o ar também deve ser evitado.

2.1.2.4 Arrolhador

Após o enchimento as garrafas seguem para o arrolhador, cuja função é lacrar as garrafas com uma rolha metálica. De acordo com Esteves (2012), devido a elevada importância em manter o tempo de contato da cerveja com o oxigênio em um valor mínimo, um sistema de engrenagens conduz em um curto espaço de tempo as garrafas que saem da enchedora até o arrolhador.

A figura 5 ilustra como o processo de arrolhamento é realizado. De acordo com Blüml (2009), na fase inicial apenas a força da mola de retenção atua na rolha. Na segunda fase, a mola ejetrora é comprimida e a pressão da rolha contra a superfície de vedação da garrafa aumenta progressivamente. A operação de arrolhamento é concluída quando a descida do êmbolo atingir os 7,7 mm e então o êmbolo retorna para a posição inicial.

Figura 5 - Processo de arrolhamento



Fonte: (BLÜML, 2009)

2.1.2.5 Pasteurizador

A pasteurização é o meio mais comum de garantir estabilidade microbiológica a cerveja em garrafa, especialmente quando é exigida uma longa vida de prateleira ao produto. O objetivo é aquecer a cerveja a uma temperatura suficientemente alta e mantê-la por tempo suficiente para matar a maior parte dos microrganismos que deterioram a cerveja (LOWE; ELKIN, 1986).

De acordo com Lowe e Elkin (1986), a Unidade de Pasteurização (UP) é a medida padrão de efeito aceita. O valor de 1 UP é aplicado segurando a cerveja a uma temperatura de 60°C por 1 minuto. Como o efeito do tempo é linear e o efeito da temperatura logarítmico, a UP fornecida em várias situações para cervejas típicas pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$\log(UP's) = \log(t) - \frac{60-T}{7} \quad (3)$$

Exceto para linhas de saída pequenas, os pasteurizadores de túnel são quase sempre usados para a pasteurização de garrafas e podem pasteurizar mais de 1000 garrafas/min (LOWE; ELKIN, 1986).

Segundo Esteves (2012), o princípio de funcionamento de um pasteurizador em túnel consiste na utilização de vapor para o aquecimento da água, que em forma de chuveiro cai sobre as garrafas conforme elas são transportadas ao longo das várias zonas no interior do pasteurizador, permitindo assim o aumento gradual da temperatura do líquido contido no interior dessas garrafas. Após atingir as unidades de pasteurização requeridas para o produto, as garrafas são então arrefecidas gradualmente até uma temperatura de cerca de 28°C, terminando o processo de pasteurização.

A figura 6 apresenta um típico pasteurizador em túnel utilizado em uma linha de envase de cerveja.

Figura 6 - Pasteurizador em túnel



Fonte: (ESTEVEES, 2012)

De acordo com Lowe e Elkin (1986), um bom controle da temperatura é necessário não apenas para assegurar a estabilidade microbiológica da cerveja mas também para evitar a quebra/explosão das garrafas no interior do pasteurizador. Pois se a temperatura estiver muito alta, ocorrerá um aumento da pressão no interior das garrafas assim como a incidência de quebras. Ainda segundo Lowe e Elkin (1986), a explosão de garrafas também pode ocorrer caso não haja espaço suficiente no topo da garrafa (sobre-enchimento), ou se as garrafas utilizadas forem de má qualidade.

2.1.2.6 Rotuladora

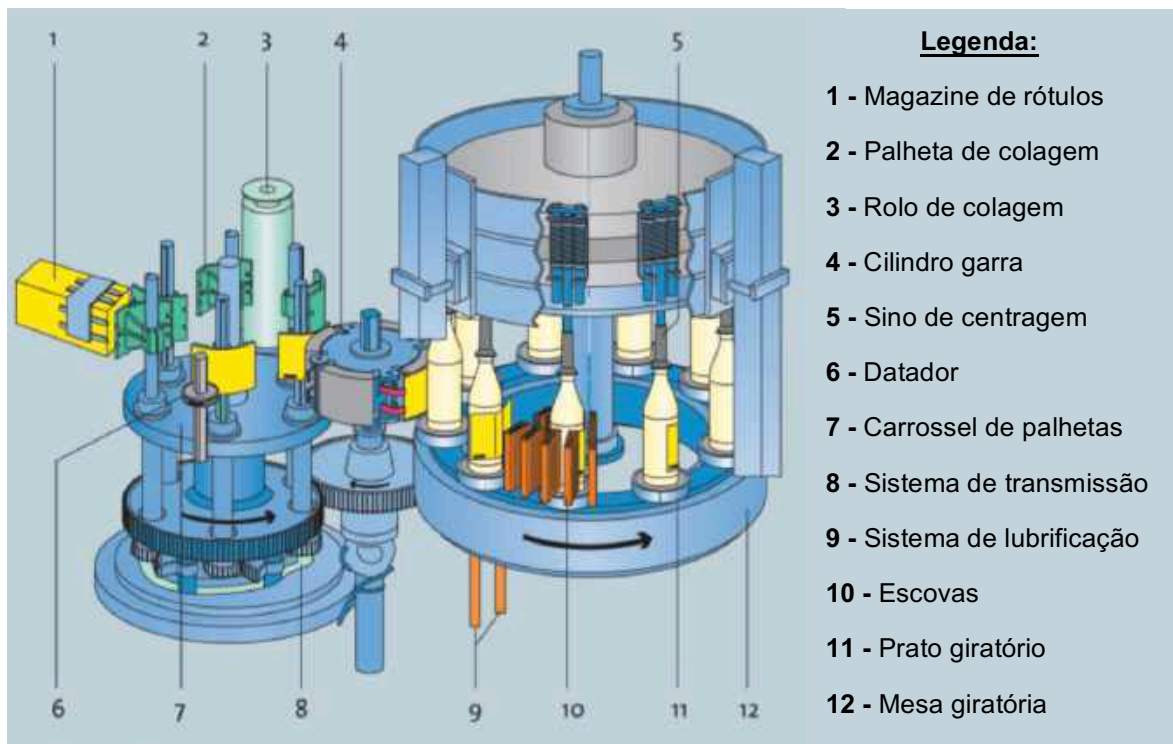
Segundo Rosa (2013), a rotuladora é um equipamento cuja função é rotular a garrafa com o rótulo do produto que está sendo envasado.

De acordo com Bückle (2009a), a maioria das rotuladoras operam segundo o princípio rotativo, que tem como vantagem uma maior precisão de rotulagem e a possibilidade de aplicação de todos os rótulos comumente usados.

Ilustrado na figura 7, o princípio de funcionamento das modernas rotuladoras rotativas consiste, primeiramente, em transferir a cola ou adesivo de um reservatório inferior para uma barra giratória vertical (rolo de colagem) em que uma

lâmina raspadora garante a espessura do filme necessária. Palhetas curvas mantidas em posição vertical passam pelo rolo de colagem para captar a carga de cola necessária e à medida que giram, ao entrar em contato com o magazine estático de rótulos, pegam o rótulo final. Os dedos do coletor montados em outro cilindro giratório adjacente (cilindro garra) removem os rótulos individuais das palhetas e os mantêm em posição de modo que eles sejam transferidos para garrafas firmemente presas, passando no momento apropriado. Mais a diante, as escovas prendem a etiqueta em contato íntimo com a garrafa (LOWE; ELKIN, 1986).

Figura 7 - Princípio de funcionamento de uma rotuladora



Fonte: Adaptado de Bückle (2009a)

2.1.2.7 Empacotadora

As garrafas não retornáveis são embaladas em uma variedade de recipientes, como apresentado na figura 8, e muitas vezes ditados em certa medida pela forma e tamanho da garrafa. Existe uma tendência para tratar a embalagem e suas garrafas como um conceito de design, especialmente onde é vendida como

uma unidade. Embalagens de 3, 4 ou 6 garrafas são usuais e a embalagem externa na maioria dos casos é de um cartão envolvendo as garrafas em linha. Sua integridade pode ser garantida por abas intertraváveis, em que se utiliza o peso das garrafas para aumentar a segurança do intertravamento, ou por cola quente (LOWE; ELKIN, 1986).

Figura 8 - Tipos de embalagem multipack



Fonte: (BÜCKLE, 2009b)

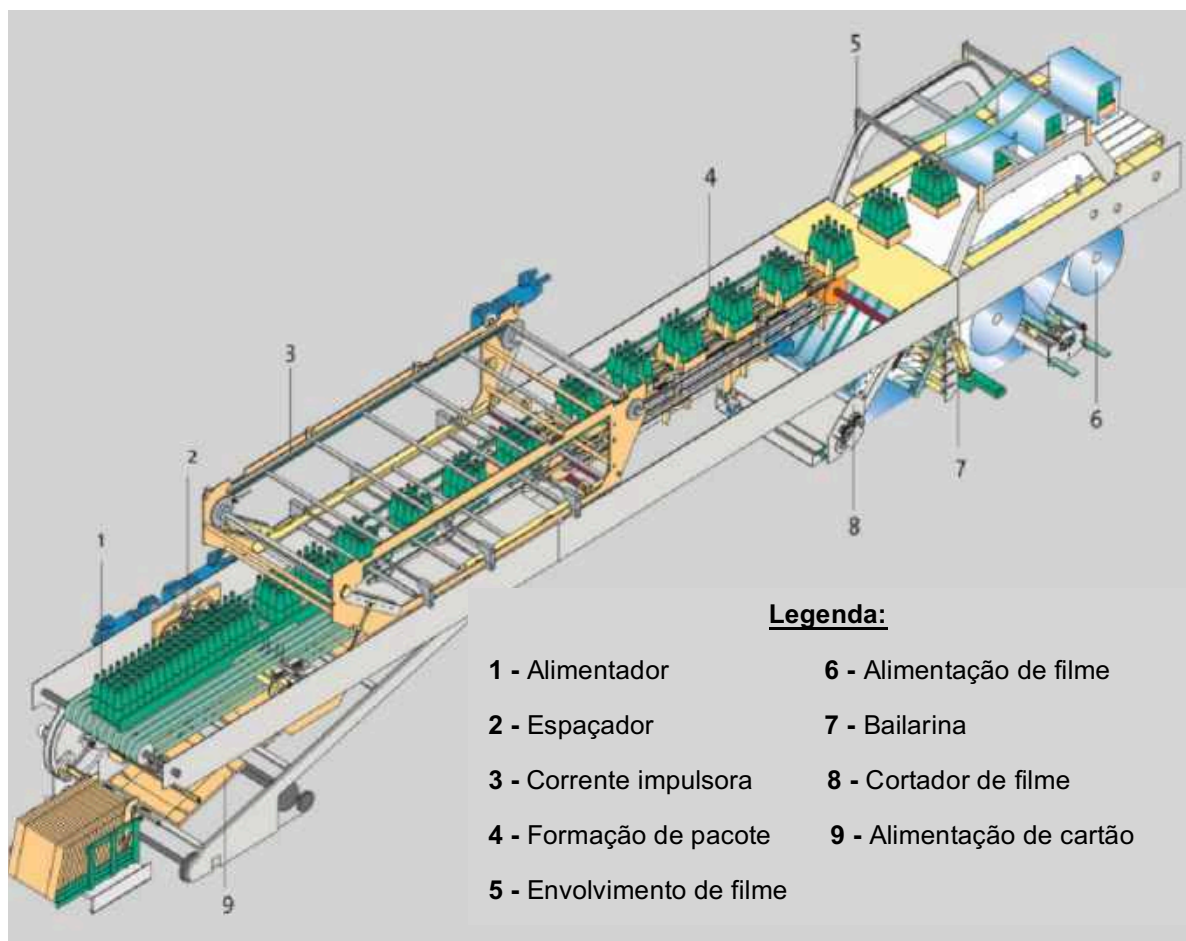
A figura 9 ilustra o princípio de funcionamento de uma empacotadora *cartão-shrink*, na qual inicialmente as garrafas são agrupadas e embaladas em caixa cartão, posteriormente revestidas com um filme *shrink* e então transportadas pelo interior de um forno, que promoverá o encolhimento do filme e finalização do processo de empacotamento.

De acordo com Bückle (2009b), o princípio de funcionamento da empacotadora *cartão-shrink* consiste inicialmente em remover as caixas cartão de um depósito localizado na parte de baixo do alimentador de garrafas e alimentá-las até uma posição abaixo de onde as garrafas são agrupadas em pequenas quantidades. A máquina então dobra os espaços em branco do cartão ao redor dos grupos de garrafas previamente formados e cola-os nas abas com cola quente. Posteriormente, as embalagens multipack formadas seguem pela guia lateral da máquina até a etapa de envolvimento com filme *shrink*.

Segundo Bückle (2009b), na etapa de envolvimento dos pacotes cartão com filme, uma lâmina rotativa controlada por um servo motor realiza o corte do filme em partes de tamanho precisamente iguais e, por meio de um transportador assistido à vácuo, promove o transporte desse filme até a estação de envoltura. Já na estação de envoltura, uma barra arrasta e envolve cada pacote com o filme de modo a garantir que as duas extremidades da seção de corte do filme se sobreponham na parte de baixo do pacote.

Os pacotes cartão envoltos com filme *shrink* são então transportados pelo interior de um forno, que sob temperatura controlada, promoverá um encolhimento e conseqüente moldagem do filme à forma do pacote. De acordo com Bückle (2009b), para garantir que o filme atinja sua temperatura ótima de encolhimento (que fica entre 105 e 120°C na superfície do filme) no túnel de contração a jusante, ele deve ser aquecido com ar quente aproximadamente 80°C acima da temperatura ambiente.

Figura 9 - Princípio de funcionamento de uma empacotadora



Fonte: Adaptado de Bückle (2009b)

Envolver garrafas, frascos e latas em caixas cartão possibilita a formação de diversas variantes de embalagens multipack. No entanto também existe a possibilidade de juntar várias dessas embalagens multipack e formar uma embalagem multipack maior (BÜCKLE, 2009b).

2.1.2.8 Paletizadora

Após saírem da empacotadora, os pacotes formados seguem até a paletizadora onde ocorre o processo de paletização.

De acordo com Esteves (2012), a paletização é o ultimo processo de uma linha de envase de cerveja e consiste basicamente em empilhar sucessivas camadas de pacotes em cima de um palete.

No processo de paletização, pacotes são dosados para o interior da máquina e simultaneamente já vão sendo orientados de maneira a formar uma estrutura de camada previamente definida. Após formadas, as camadas são então comprimidas e depositadas em cima de um palete (ESTEVES, 2012).

Segundo Esteves (2012), a disposição dos pacotes dentro de uma camada é feita de forma estratégica e tem como objetivo garantir estabilidade ao palete e otimizar a quantidade de embalagens em cada camada.

A figura 10 ilustra o esquema de funcionamento de uma paletizadora em que a orientação das embalagens é realizada por manipuladores.

Figura 10 - Esquema de funcionamento de uma paletizadora



Fonte: (KRONES, 2009)

2.1.2.9 Envolvedora

Após formado, o palete de produto acabado é então envolto com um filme plástico em um equipamento chamado envolvedora para estabilizar as camadas e assim assegurar um transporte mais fácil e seguro (ESTEVES, 2012).

De acordo com Esteves (2012), esse processo de envoltura é realizado por meio de movimentos rotativos em torno do palete, sendo necessário apenas a alimentação de rolos de plástico na máquina.

Terminado o processo de envoltura, os paletes são etiquetados e transportados até o armazém.

2.2 TRANSPORTADORES

Os transportadores são os elementos responsáveis por interligar os vários equipamentos de uma linha de envase desde o início do processo na despaletizadora até o fim do processo na envolvedora, assegurando assim o transporte das garrafas ao longo de todos eles (LOWE; ELKIN, 1986).

Segundo Groover (2011), um transportador é um aparato mecânico empregado quando se tem a necessidade de mover materiais em quantidades relativamente grandes entre localizações específicas através de um percurso que pode ser no piso, acima do piso ou aéreo.

Em transportadores motorizados, correntes, esteiras e roletes são alguns dos mecanismos de propulsão utilizados para propelir cargas ao longo de um percurso fixo. Já em transportadores não motorizados, os materiais são movidos manualmente por trabalhadores, que os empurram ao longo de um percurso, ou pela gravidade, de uma posição mais alta para uma posição mais baixa (GROOVER, 2011).

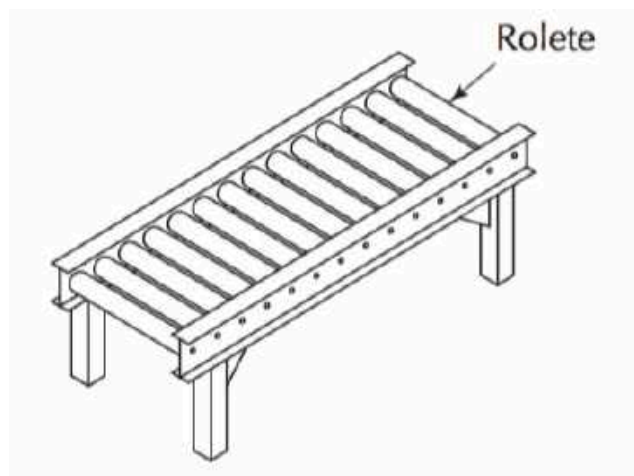
Vários tipos de transportadores encontram-se disponíveis comercialmente. No entanto, em uma linha de envase de cerveja os principais tipos de transportadores motorizados empregados são:

- Transportadores de roletes ou *roller conveyors*;
- Transportadores de esteiras ou *belt conveyors*;
- Transportadores de correntes ou *chain conveyors*.

2.2.1 Transportador de roletes

De acordo com Groover (2011), o transportador de roletes consiste em uma série de tubos (roletes) dispostos perpendiculares à direção de deslocamento e ao longo de todo o percurso de transporte. A figura 11 ilustra o exemplo de um transportador do tipo de roletes.

Figura 11 - Transportador de roletes



Fonte: (GROOVER, 2011)

Segundo Lamb (2015), os roletes desse tipo de transportador são constituídos de uma carcaça metálica que, dependendo do material a ser transportado, podem de ser de alumínio de paredes finas ou até mesmo de aço mais pesado, e possuem um eixo em cada extremidade. Ainda de acordo com Lamb (2015), os rolos de paredes finas por serem facilmente amassados e dobrados são mais restritos ao transporte de embalagens.

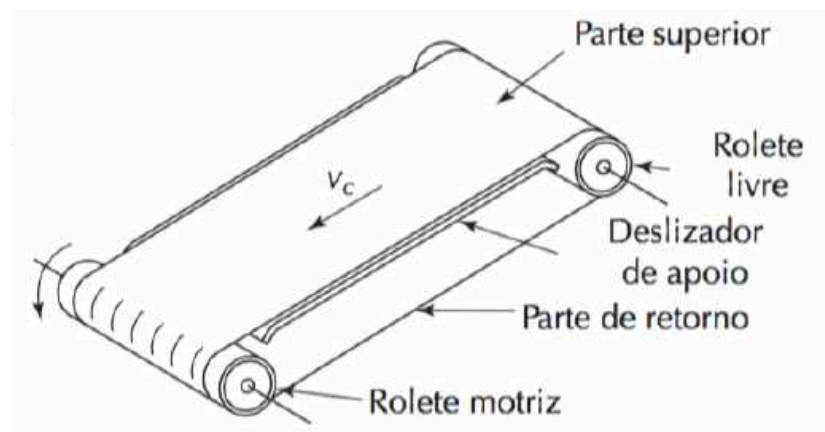
De acordo com Groover (2011), nesse tipo de transportador os roletes ficam contidos em uma estrutura fixa que eleva o percurso a um nível acima do piso e as cargas são deslocadas à medida que os roletes giram. Ainda de acordo com Groover (2011), esses transportadores podem ser tanto motorizados como não motorizados. Quando motorizados, os roletes são impulsionados por correias ou correntes. Já quando não motorizados, os roletes normalmente são impulsionados pela gravidade em um percurso que tenha inclinação suficiente para superar o atrito do rolamento.

Apesar do transportador de roletes ser utilizado em uma ampla variedade de aplicações, incluindo manufatura, montagem, empacotamento, seleção e distribuição, seu uso é indicado apenas no transporte de cargas que possuem superfície de fundo plana o suficiente para ficar em contato com vários roletes adjacentes (GROOVER, 2011). Assim, em uma linha de envase de cerveja vemos sua aplicabilidade restrita ao transporte de paletes vazios, pacotes de cerveja embalada e paletes de produto acabado.

2.2.2 Transportador de esteiras

De acordo com Groover (2011), transportadores de esteira consistem de uma esteira contínua a qual é apoiada por uma estrutura que possui deslizadores ao longo de todo o percurso e impulsionada por um rolo de propulsão instalado em umas das extremidades do transportador. O exemplo de um transportador de esteiras é ilustrado na figura 12.

Figura 12 - Transportador de esteiras



Fonte: (GROOVER, 2011)

Segundo Groover (2011), nesse tipo de transportador a esteira é feita de elastômero reforçado, de maneira que possua alta flexibilidade e baixa capacidade de extensão, e metade do seu comprimento é utilizado para a entrega de materiais e a outra metade no retorno. Ainda segundo Groover (2011), os materiais colocados sobre a superfície da esteira se deslocam ao longo de todo o percurso do transportador.

De acordo com Groover (2011), transportadores de esteiras são disponíveis em duas formas comuns: esteiras planas, usadas no transporte de paletes, peças individuais ou até mesmo determinados tipos de materiais volumosos, e esteiras sulcadas, usadas no transporte de materiais volumosos e granulados.

Em uma linha de envase de cerveja, os transportadores de esteiras são encontrados apenas sob a forma de esteiras planas e restrito apenas ao transporte de pacotes de cerveja embaladas.

2.2.3 Transportador de correntes

De acordo com Groover (2011), um transportador de correntes típico consiste de correntes em uma configuração em cima, em baixo e em torno de engrenagens motorizadas, as quais são instaladas na extremidade de um percurso.

De acordo com Lamb (2015), o tipo mais comum de um sistema de transporte por correntes é o transportador por correntes de bancada, o qual possui placas planas ligadas à uma corrente e está ilustrado na figura 13.

Figura 13 - Transportador de correntes



Fonte: (LAMB, 2015)

As correntes desse tipo de transportador podem ser compostas tanto de material termoplástico quanto de material metálico, e por serem flexíveis nas laterais e em uma inclinação, permitindo assim que os sistemas de transporte curvados funcionem, também são chamados de transportadores multiflexíveis (LAMB, 2015).

De acordo com Groover (2011), esse tipo de transportador também pode assumir a configuração de duas ou mais correntes operando em paralelo, as quais se deslocam ao longo de canais que proporcionam apoio as seções de correntes flexíveis.

A figura 14 ilustra uma configuração de correntes metálicas operando em paralelo em um típico sistema de transporte por correntes.

Figura 14 - Transportador de correntes metálicas operando em paralelo



Fonte: Próprio autor

Segundo Lamb (2015), pelo fato de uma roda dentada ser usada como sistema de acionamento, os transportadores por corrente de bancada não são colocados sob tensão. Ainda segundo Lamb (2015), uma prática comum é o uso de um aro de suspensão (catenária) nas extremidades das correntes para permitir

um retorno fácil dessas correntes na parte inferior da estrutura do sistema de transporte.

Em uma linha de envase de cerveja, os transportadores de correntes são amplamente empregados ao longo de toda a linha. Transportadores de correntes metálicas operando sob a configuração unifilar e em paralelo promovem o transporte de garrafas vazias até a enchedora, de garrafas cheias até o pasteurizador, de garrafas pasteurizadas até a rotuladora e de garrafas rotuladas até a empacotadora. Um transportador de correntes termoplástico também pode ser empregado ao longo do transporte de pacotes da empacotadora até a paletizadora.

2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO

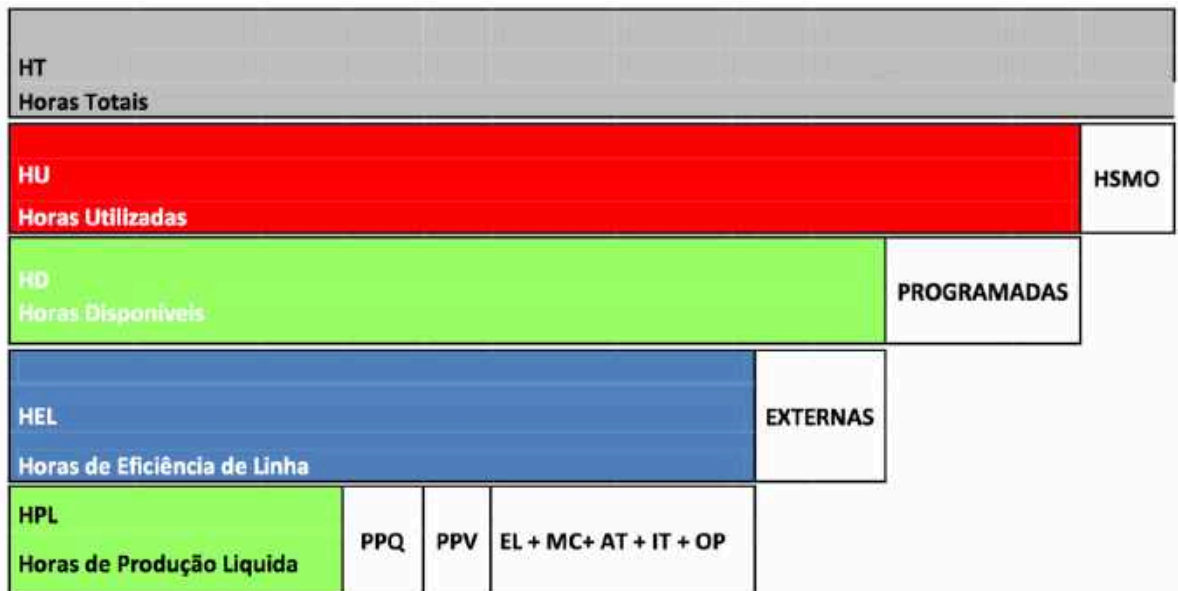
De acordo com Arruda (2012), os preceitos para o cálculo de desempenho de uma linha se baseiam nos seguintes itens:

- a) horas totais (HT): horas disponíveis dentro de um período de tempo;
- b) horas sem mão de obra (HSMO): horas que uma linha de produção permanece parada por falta de turno de produção. Para se encaixar nesse item, nenhum tipo de atividade deve estar sendo realizada na linha durante este período;
- c) horas utilizadas (HU): descontando as horas sem mão de obra, são todas as horas que a linha está aberta a produção ou pronta para ser utilizada;
- d) horas de paradas programadas: horas em que existe paradas previamente programadas, como por exemplo paradas para manutenção, *setup* e assepsia;
- e) horas disponíveis (HD): horas em que efetivamente a linha de produção pode estar rodando a sua plena capacidade;
- f) horas de paradas externas: paradas de produção causadas por fatores externos a administração da linha de produção e que influenciam diretamente na eficiência da linha, como por exemplo paradas para logística, processo, utilidades, suprimentos e qualidade;
- g) horas de eficiência de linha (HEL): descontando as horas de paradas externas, são as horas que a linha de produção deveria estar rodando;

- h) paradas por qualidade (PPQ), velocidade (PPV), elétrica (EL), mecânica (MC), automação (AT), instrumentação (IT) e operacionais (OP): horas de paradas de máquinas e equipamentos devido a quebras ou falhas;
- i) horas de produção líquida (HPL): horas em que a linha de produção esteve rodando e produzindo efetivamente.

A figura 15 ilustra todos os fatores de utilização de uma linha de produção necessários para o cálculo de seu desempenho.

Figura 15 - Fatores de utilização de uma linha de produção



Fonte: (ARRUDA, 2012)

De acordo com Arruda (2012), alguns indicadores importantes para a análise de desempenho de uma linha de produção são: produtividade (GLY), eficiência de linha (LEF) e eficiência total dos equipamentos (OEE). Somando-se a esses indicadores inclui-se também os termos rendimento próprio (RP) e ineficiência.

2.3.1 Produtividade

De acordo com Bernolak (1997), o termo produtividade significa quanto e quão bem se produz a partir dos recursos utilizados; uma vez que se entende por “recursos” como sendo tanto as pessoas que produzem os bens ou fornecem os

serviços (recurso humano) quanto os equipamentos, ferramentas e edifícios (recurso físico) usados pelas pessoas no processo produtivo.

Produzir mais e melhor com o uso dos mesmos recursos assim como produzir o mesmo com o uso de menos recursos, são as formas de se aumentar a produtividade (BERNOLAK, 1997).

De acordo com Tangen (2005), a produtividade está intimamente relacionada ao uso e disponibilidade de recursos, o que significa que a produtividade de uma empresa é reduzida se seus recursos não forem usados adequadamente ou se houver falta deles.

Ainda de acordo com Tangen (2005), a produtividade também está fortemente conectada à criação de valor, o que também significa que uma alta produtividade é alcançada quando atividades e recursos no processo de transformação de manufatura agregam valor aos produtos produzidos.

Com base nas definições de produtividade apresentadas previamente e correlacionando-as com os fatores de utilização de uma linha de produção apresentados por Arruda (2012) é possível chegar na seguinte fórmula para o cálculo da produtividade de uma linha de produção:

$$Produtividade = \frac{Horas\ de\ Produção\ Líquida}{Horas\ Utilizadas} \quad (4)$$

2.3.2 Eficiência de Linha

De acordo com Moradizadeh (2014), o termo eficiência refere-se à extensão de como um produto é produzido com o menor desperdício de tempo, gasto e esforço desnecessário, ou seja, é realizar uma tarefa da melhor maneira possível com um mínimo de desperdício e esforço.

Sumanth (1984), define eficiência como sendo a relação entre a produção real alcançada e a produção padrão esperada, refletindo no quão bem os recursos são utilizados para se alcançar um resultado.

Já de acordo com Tangen (2005), o termo eficiência é muito semelhante ao conceito referido à taxa de utilização, que significa o quanto um equipamento ou um processo é utilizado na prática em comparação com o seu máximo.

Assim como realizado para o indicador produtividade, tomando por base as definições de eficiência apresentadas previamente e correlacionando-as com os fatores de utilização de uma linha de produção apresentados por Arruda (2012) é possível chegar na seguinte fórmula para o cálculo da eficiência de uma linha de produção:

$$\text{Eficiência de Linha} = \frac{\text{Horas de Produção Líquida}}{\text{Horas de Eficiência de Linha}} \quad (5)$$

2.3.3 Eficiência Total dos Equipamentos

A Eficiência Total dos Equipamentos (OEE) é um indicador de desempenho que mede diferentes tipos de perdas de produção e é uma ferramenta efetiva para analisar e aumentar a produtividade de uma planta (AMAN et al., 2017).

De acordo com Simomukay (2015), a primeira utilização do OEE como indicador de performance de um equipamento foi um estudo realizado por Seiichi Nakajima em 1988 tendo como objetivo determinar a produtividade de uma máquina em uma linha de produção.

Nakajima (1988) apresenta em seu trabalho que as perdas de produção relacionados a problemas com equipamentos tem três origens que são: perdas por paradas não planejadas, perdas por uma máquina não funcionar em sua nominal e perdas por produtos fora das especificações. Diante disso, Nakajima (1988) apresenta o indicador OEE como o cálculo obtido da multiplicação de três fatores que são Disponibilidade Operacional, Taxa de Desempenho e Taxa de Qualidade, como apresentado na equação 6.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade} \quad (6)$$

Marques (2017) apresenta o termo Disponibilidade Operacional como a razão entre o Tempo Efetivo de Operação de um equipamento e a Jornada de Trabalho - tempo que este equipamento ficou disponível para produzir. O termo Jornada de Trabalho pode ser entendido como sendo o tempo total que um equipamento ficou disponível já subtraído os tempos de paradas planejadas. E o

termo Tempo Efetivo de Operação como sendo o tempo relativo a jornada de trabalho subtraído dos tempos relacionados às paradas não programadas.

$$\text{Disponibilidade Operacional} = \frac{\text{Tempo Efetivo de Operação}}{\text{Jornada de Trabalho}} \quad (7)$$

A Taxa de Desempenho é a razão entre a Taxa de Produção Real e a Taxa de Produção Ideal de um equipamento (MARQUES, 2017). Já de acordo com Aman et al. (2017), o termo performance refere-se a quão bom uma máquina está rodando quando ela está rodando.

O termo Taxa de Produção Ideal pode ser interpretado como sendo a quantidade teórica de peças que um equipamento consegue produzir em um ciclo operacional e o termo Taxa de Produção Real como a quantidade real de peças produzidas tomando como base o mesmo ciclo operacional, sendo este último termo afetado por pequenas paradas e pela necessidade de adoção de uma velocidade de processo reduzida (MARQUES, 2017).

$$\text{Taxa de Desempenho} = \frac{\text{Quantidade peças produzidas}}{\text{Quantidade planejada}} \quad (8)$$

De acordo com Marques (2017), o termo Taxa de Qualidade é a razão entre a quantidade de Produtos Bons produzidos e a Produção Total. É a capacidade de uma máquina em produzir uma peça que esteja dentro das especificações e dos parâmetros de conformidade previamente estabelecidos. Ainda segundo Marques (2017), tanto a produção de peças defeituosas quanto a produção de peças que necessitam de correções são contabilizadas como perdas por qualidade.

$$\text{Taxa de Qualidade} = \frac{\text{Produtos Bons}}{\text{Produção Total}} \quad (9)$$

Da mesma forma como realizado para os indicadores produtividade e eficiência de linha, tomando por base as definições de OEE, disponibilidade, performance e qualidade apresentadas previamente e correlacionando-as com os fatores de utilização de uma linha de produção apresentados por Arruda (2012),

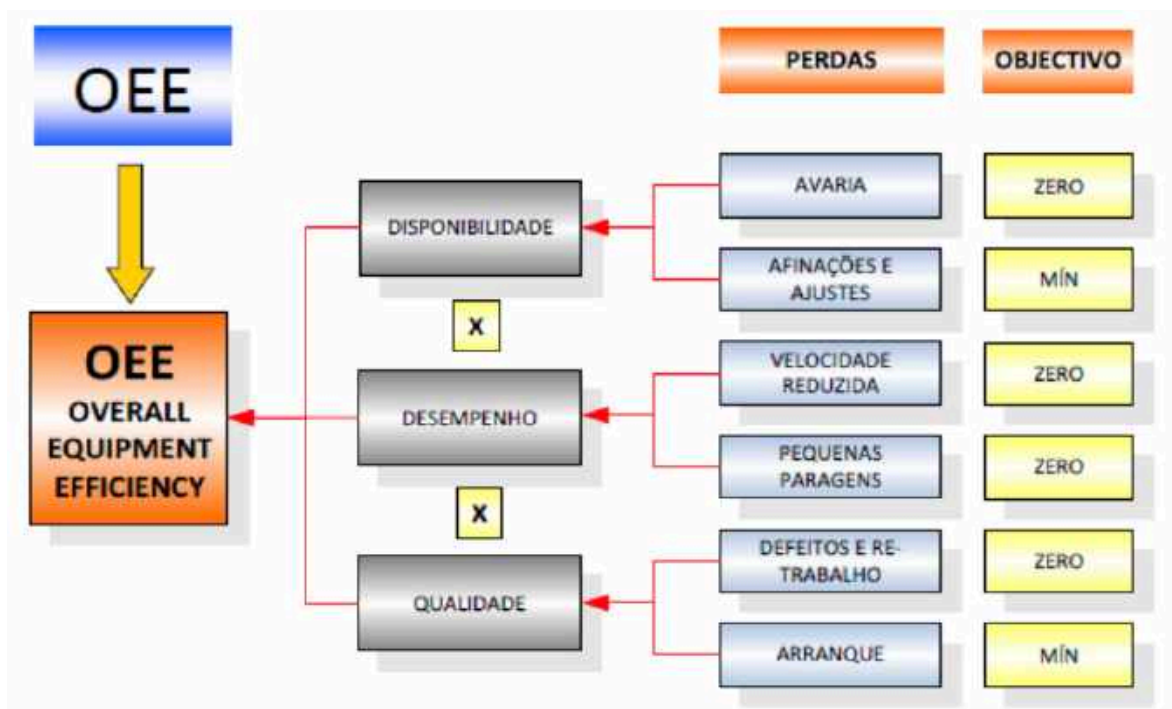
partindo da equação 6 é possível chegar na seguinte fórmula para o cálculo do indicador OEE:

$$OEE = \frac{HEL}{HD} \times \frac{HPL+PPQ}{HEL} \times \frac{HPL}{HPL+PPQ} \quad (10)$$

$$OEE = \frac{HPL}{HD} = \frac{\text{Horas de Produção Líquida}}{\text{Horas Disponíveis}} \quad (11)$$

Tomando por base as três origens de perdas em um processo produtivo que são Disponibilidade, Performance e Qualidade, Nakajima (1988) apresenta as *Seis Principais Grandes Perdas* dos equipamentos produtivos. A figura 16 ilustra essas perdas e as correlacionam com os fatores do indicador OEE.

Figura 16 - Seis Principais Grandes Perdas dos equipamentos produtivos



Fonte: (SOBRAL, 2011)

Essas Seis Grandes Perdas apresentadas por Nakajima (1988) também são discutidas por Aman et al. (2017), que explicam cada uma delas como segue:

- avarias: perdas que ocorrem devido a falha ou quebra do equipamento;
- afinações e ajuste: perdas que ocorrem quando a produção está mudando

- de um produto para outro;
- c) redução de velocidade: essas perdas referem-se a diferença entre a velocidade de design do equipamento e a velocidade real de operação;
- d) espera e paradas pequenas: perdas que ocorrem quando a produção é interrompida por um mal-funcionamento temporário ou quando a máquina está em marcha lenta;
- e) defeitos e retrabalho: perdas causadas por um mal-funcionamento do equipamento;
- f) perdas de arranque: perdas de rendimento que ocorrem desde a partida do equipamento até a estabilização.

Com o intuito de diminuir essas perdas, Marques (2017) traça algumas estratégias de eliminação e de prevenção expostas no quadro 1.

Quadro 1 - Estratégias de prevenção e eliminação das perdas dos equipamentos produtivos

Perdas	Estratégias de Eliminação	Estratégias de Prevenção
Falha/avaria	<ul style="list-style-type: none"> • Reparação eficaz; • Detecção correta das avarias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção preventiva; • Manutenção centrada na fiabilidade.
Setups e afinações	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir tempo de mudança. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conceber ou alterar equipamentos.
Redução de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminação das pequenas paradas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Engenharia da fiabilidade.
Pequenas paradas	<ul style="list-style-type: none"> • Balanceamento das linhas de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção centrada na fiabilidade; • Automação; • Modificar equipamentos para alimentação contínua.
Defeitos e retrabalho	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar e corrigir as falhas dos problemas de qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção da qualidade; • Ações preventivas.
Perdas de arranque	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar e corrigir as causas das perdas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudar e implementar as condições ideais de arranque; • Modificar equipamentos e ferramentas.

Fonte: (MARQUES, 2017)

2.3.4 Rendimento Próprio e Ineficiência

De acordo com Gazzi Júnior (2008), a ineficiência de uma linha de produção é a soma das ineficiências dos vários equipamentos da linha, diferença bruta / líquida (DBL) e horas sem especificação (HSE).

A ineficiência de um equipamento é resultado da ocorrência de paradas não prevista que podem ser de natureza elétrica, mecânica, automação, instrumentação e operacional (GAZZI JÚNIOR, 2008).

Tanto para o termo DBL quanto para o termo HSE, Gazzi Júnior (2008) faz uma associação com os fatores de utilização de uma linha de produção apresentados por Arruda (2012), na figura 15. Assim, de acordo com Gazzi Júnior (2008), o termo diferença bruta / líquida (DBL) pode ser considerado o mesmo que perdas por qualidade (PPQ) e o termo horas sem especificação (HSE) como sendo o mesmo que paradas por velocidade (PPV).

Como forma de ilustrar o passo a passo referente ao cálculo do rendimento próprio (RP) de uma linha produtiva, Gazzi Júnior (2008) apresenta o quadro 2 abaixo, em que “[...] o resultado apresentado na coluna rendimento próprio da linha é a Eficiência de Linha”.

Quadro 2 - Exemplo de cálculo do rendimento próprio de uma linha produtiva

	HEL	Parada	Ineficiência		Rendimento Próprio	
Equipamento 1	500	50	= 50 / 500	= 10%	= 1 - 10%	= 90%
Equipamento 2	500	25	= 25 / 500	= 5%	= 1 - 5%	= 95%
Equipamento 3	500	5	= 5 / 500	= 1%	= 1 - 1%	= 99%
HSE	500	10	= 10/50	=2%	= 1 - 2%	= 98%
DBL (h)	500	5	= 5 / 500	= 1%	= 1 - 1%	= 99%
Linha	500	95	= 95/500	= 19%	= 1 - 19%	=81%

Fonte: (GAZZI JÚNIOR, 2008)

Analisando a base de cálculo do quadro 2, assim como as definições de ineficiência de linha e rendimento próprio (RP) apresentadas previamente e correlacionando-as com os fatores de utilização de uma linha de produção apresentados por Arruda (2012), é possível chegar nas seguintes fórmulas:

$$\text{Ineficiência da linha} = \frac{(EL+MC+AT+IT+OP) + PPV + PPQ}{HEL} = 1 - \frac{HPL}{HEL} \quad (12)$$

$$\text{Ineficiência do equipamento} = \frac{EL+MC+AT+IT+OP}{HEL} \quad (13)$$

$$RP \text{ da linha} = 1 - \text{Ineficiência da linha} = \text{Eficiência de linha} \quad (14)$$

$$RP \text{ do equipamento} = 1 - \text{Ineficiência do equipamento} \quad (15)$$

2.4 O MÉTODO PDCA

Método é uma palavra de origem grega composta pela soma das palavras *meta* e *hodos*. Uma vez que *meta* significa resultado a ser atingido e *hodos* caminho, a palavra método pode ser interpretada como o caminho para o resultado (CAMPOS, 2014).

Originalmente desenvolvido na década de 1930 pelo estatístico americano Walter A. Shewhart, o método de melhorias, conhecido atualmente como ciclo PDCA, somente ganhou popularidade na década de cinquenta por meio dos trabalhos desenvolvidos no Japão pelo especialista em qualidade W. Edwards Deming (ANDRADE, 2003).

De acordo com Mariani (2005), o PDCA é um método “[...] utilizado pelas organizações para gerenciar os seus processos internos de forma a garantir o alcance de metas estabelecidas, tomando as informações como fator de direcionamento das decisões”.

Segundo Andrade (2003), as letras que formam o nome do método, PDCA, fazem parte dos passos básicos concebidos originalmente por Shewhart e posteriormente aprimorados por Deming, que no idioma de origem significam PLAN (planejar), DO (executar), CHECK (verificar) e ACT (atuar).

2.4.1 Fase 1 do PDCA - Planejamento

A primeira fase do ciclo PDCA corresponde ao planejamento, representada pela letra P (Plan) da sigla PDCA. Segundo Badiru e Ayeni (1993), o planejamento é a fase mais importante do ciclo, pois a eficácia futura do ciclo está baseada em

um planejamento minuciosamente elaborado, o qual fornecerá dados para todas as outras etapas.

Localizar o problema, estabelecer meta, analisar o fenômeno, analisar o processo e elaborar o plano de ação são etapas essenciais de um bom planejamento (ANDRADE, 2003).

2.4.2 Fase 2 do PDCA - Execução

A segunda fase do ciclo PDCA corresponde à execução, representada pela letra D (Do) da sigla PDCA. Essa fase é a responsável pela implementação das ações elaboradas no plano de ação (ROSA, 2013).

De acordo com Sobek e Jimmerson (2004), a fase de execução é onde de fato ocorre a efetiva intervenção no processo visando a eliminação da causa raiz. Segundo Silva (2009), a execução das atividades previstas deve ser realizada pelo pessoal designado, nos locais definidos, seguindo o cronograma previamente determinado e obedecendo aos procedimentos existentes.

Segundo Campos (2014), durante essa fase todas as ações e resultados, sejam bons ou ruins, precisam ser registrados e datados para alimentar a fase seguinte do ciclo PDCA, fase de verificação.

2.4.3 Fase 3 do PDCA - Verificação

A terceira fase do ciclo PDCA corresponde à verificação, representada pela letra C (Check) da sigla PDCA. Essa fase é a responsável pela verificação das ações executadas na etapa anterior do ciclo (ANDRADE, 2003).

Afim de analisar criticamente as ações executadas na etapa anterior, Melo e Caramori (2001) subdividem essa fase em 3 etapas: comparação dos resultados, listagem dos efeitos secundários e verificação da continuidade ou não do problema.

Na etapa de comparação dos resultados, verifica-se a efetividade das ações e o grau de redução do problema. Na etapa de listagem dos efeitos secundários, faz-se um levantamento dos possíveis efeitos colaterais resultantes das ações executadas, os quais podem assumir a forma tanto positiva quanto negativa frente à organização. Por fim, a terceira e última etapa verifica a continuidade ou não do problema: em resultados satisfatórios, conclui-se que as ações traçadas e

executadas se mostraram eficazes na solução do problema; no entanto quando os efeitos indesejáveis continuam a ocorrer mesmo após a execução das ações, conclui-se que as ações planejadas foram falhas (MELO; CARAMORI, 2001).

2.4.4 Fase 4 do PDCA - Validação

A quarta e última fase do ciclo PDCA corresponde à validação, representada pela letra A (Act) da sigla PDCA. Essa fase consiste em ações corretivas e é baseada nas informações obtidas da fase anterior do ciclo (ROSA, 2013).

A partir dos resultados obtidos na fase de verificação do ciclo PDCA, tem-se dois caminhos distintos a seguir: em resultados satisfatórios, deve-se padronizar o processo, assegurando assim sua continuidade; porém se não foi possível atingir os resultados propostos, ou seja, mesmo após a execução das ações os efeitos indesejáveis continuam a ocorrer, deve-se reiniciar o ciclo PDCA afim de discutir e propor novas soluções para o problema (MARIANI, 2005).

2.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

De acordo com Carpinetti (2016), apesar do termo qualidade ser visto hoje como um fator estratégico para a melhoria de competitividade e produtividade das empresas, a importância desse conceito decorre de um longo processo de evolução. Até a década de 1950 era sinônimo de perfeição técnica em projeto e fabricação e só a partir dos trabalhos de Juran, Deming e Feigenbaun que esse conceito foi ampliado para adequação do produto ao uso, levando em consideração a satisfação do cliente.

Segundo Paladini (2012), o conceito de qualidade total atual direciona para uma melhoria contínua dos processos a fim de que os produtos e serviços tenham um aumento de adequação ao uso final, e para isso faz-se necessário tanto o envolvimento total das pessoas como o total atendimento às necessidades dos clientes.

De acordo com Campos (2014), o conceito qualidade quando aplicado de forma adequada e planejada nas organizações traz resultados significativos que vão desde ganho de produtividade, redução de custos e desperdício até um melhor aproveitamento de maquinário e mão de obra.

Lucinda (2010) pontua que com o aumento na complexidade das atividades organizacionais houve também um aumento no grau de dificuldade em solucionar problemas, de forma que apenas uma pessoa não consegue mais resolver sozinha os complexos problemas organizacionais, dependendo de um trabalho em equipe e uma intervenção multidisciplinar. Nesse sentido, de acordo com Daniel e Murback (2014), as ferramentas da qualidade chegam para facilitar a resolução de problemas e para potencializar as habilidades e competências da equipe “[...] disponibilizando métodos e técnicas para identificação das possíveis causas e a descoberta de soluções para o problema”.

Segundo Mariani (2005), trabalhar com fatos e dados e interpretar corretamente as informações disponíveis como forma de eliminar o empirismo se faz necessário no gerenciamento de processos e sobretudo na tomada de decisões com maior precisão. Nesse contexto, as ferramentas da qualidade são técnicas importantes e eficazes que propiciam coleta, processamento e disposição clara dos dados e informações dos processos que estão sob gerenciamento dentro das organizações (MARIANI, 2005).

Freitas (2009) define as ferramentas da qualidade como ferramentas que auxiliam na solução de problemas e na tomada de decisão, trabalhando na coleta e processamento de dados e facilitando a execução do método. Tal favorecimento às metodologias é explicado uma vez que essas ferramentas propiciam um estudo e avaliação mais detalhada de cada etapa do método garantindo um alcance satisfatório de resultados, evitando retrabalho e desperdício de tempo (AGUIAR, 2012).

Já de acordo com Daniel e Murback (2014), as ferramentas da qualidade têm a finalidade de identificar os problemas e ajudar tanto na compreensão das razões como na geração de soluções para eliminá-los, buscando sempre a otimização dos processos operacionais da empresa.

Segundo Vergueiro (2002), apesar de muitas das ferramentas da qualidade serem baseadas em instrumentos gráficos que buscam deixar evidentes os problemas que se buscam solucionar, também existem outras que representam técnicas para o enfoque do problema. Algumas dessas ferramentas estão evidenciadas a seguir.

2.5.1 Estratificação

De acordo com Campos (2014), estratificar “[...] é dividir um problema em estratos (camadas) de problemas de origens diferentes”, classificando-se como uma ferramenta de análise de processo pois vai em busca da origem do problema.

Já de acordo com Mariani (2005), a estratificação é uma técnica que tem como objetivo subdividir ou quebrar em partes menores o problema em estudo, facilitando a investigação e a análise para uma posterior busca de soluções.

Seguindo o mesmo raciocínio, Seleme e Stadler (2012) tratam a estratificação como uma ferramenta que promove a separação de grupos em subgrupos específicos possibilitando assim a análise por segmentos menores até se encontrar a causa raiz dos problemas.

Oakland (1994) pontua que é uma ferramenta que tem forte efeito quando usada em combinação com outras técnicas, como por exemplo Diagramas de Pareto, Histogramas e Diagramas de Dispersão.

2.5.2 Diagrama de Pareto

De acordo com Seleme e Stadler (2012), o diagrama de Pareto é uma ferramenta desenvolvida por Joseph Juran a partir de análises e estudos realizados pelo economista italiano Vilfredo Pareto. É um gráfico de barras construído a partir de um processo de coleta de dados que possibilita a priorização das causas de um determinado problema uma vez que organiza a frequência de ocorrências em ordem decrescente, além de apresentar uma curva de percentagens acumuladas (FREITAS, 2009).

Vilfredo Pareto, um sociólogo e economista italiano desenvolveu em 1987 um estudo sobre a desigualdade na distribuição da riqueza em seu país que concluiu que 20% da população detinham 80% da riqueza, enquanto o restante da população detinham apenas 20% (FREITAS, 2009). Joseph Juran percebeu que essa ideia também se aplicava aos problemas da qualidade e estabeleceu uma classificação dividindo-os em *poucos vitais* e *muitos triviais*, ou seja, a maior quantidade dos defeitos se refere a poucas causas (SELEME; STADLER, 2012).

Trazendo a classificação estabelecida por Joseph Juran para o ambiente organizacional, Freitas (2009), pontua que o termo “poucos vitais” se refere a “[...]”

um pequeno número de problemas que resultam em grandes perdas para a organização” e o termo “muitos triviais” se refere a “[...] uma extensa lista de problemas que apesar de seu grande número, convertem-se em perdas pouco significativas”.

De acordo com Kume (1993), o gráfico de Pareto é uma das ferramentas mais utilizadas pelas organizações na identificação de problemas. Um gráfico que organiza em ordem decrescente os dados referentes a um determinado problema permitindo assim identificar os itens responsáveis pela maior parcela do meu problema e que devem ser tratados prioritariamente.

Segundo Loriggio (2002), o gráfico de Pareto é uma ferramenta excepcional pois, mesmo que de forma indireta, garante um direcionamento para encontrar as causas do problema e para elaborar um plano de ação.

Seleme e Stadler (2012) pontuam que um dos maiores benefícios dessa ferramenta é o seu formato simplificado, que possibilita sua transmissão de forma fácil aos funcionários.

2.5.3 Brainstorming

De acordo com Daniel e Murback (2014), o *brainstorming*, também conhecido como tempestade de ideias, é uma ferramenta que foi desenvolvida por Alex Osborn em 1938 quando este era presidente de uma agência de propaganda. Uma ferramenta de geração de ideias em grupo que, dentro de um curto espaço de tempo, tem como objetivo a obtenção de soluções criativas e inovadoras para os problemas em estudo, demandando a contribuição de todos os integrantes (MEIRELES, 2001).

Segundo Seleme e Stadler (2012), é uma ferramenta de geração de ideias muito utilizada na resolução de problemas, bem como em processos de inovação e no desenvolvimento de novos produtos. Por ser uma ferramenta que pressupõe um estímulo à criatividade, “[...] os integrantes têm liberdade total de expor suas ideias, por mais absurdas que pareçam, sem se preocuparem uns com os outros” (SELEME; STADLER, 2012).

De acordo com Meireles (2001), o objetivo do *brainstorming* “[...] é o exercício livre da criatividade na geração de soluções que possam reduzir ou eliminar o problema constatado”.

Durante o *brainstorming* as críticas e avaliações devem ser evitadas e as ideias estimuladas, uma vez que o enfatizado é a quantidade de ideias geradas e não a qualidade. O processo de avaliação e classificação das ideias geradas é feito em um momento posterior, de acordo com as expectativas da organização (DANIEL; MURBACK, 2014).

Segundo o Sebrae (2005), essa ferramenta de geração de ideias pode ser classificada como um lubrificante pois, em um processo de solução de problemas, muitas das vezes as causas não são de fácil identificação e as opções de solução também não são aparentes. Já com o conjunto de ideias e sugestões levantadas, consegue-se avançar na busca de soluções e também aumentar a quantidade de opções a serem analisadas (SANTOS; GONÇALVES, 2016).

Seleme e Stadler (2012) esclarecem que a utilização dessa ferramenta é composta por três fases: na primeira fase as ideias são geradas, na segunda fase é realizado um esclarecimento referente ao processo e na terceira fase é realizada uma avaliação das ideias propostas.

2.5.4 Diagrama de Ishikawa

Originalmente proposto pelo professor da Universidade de Tóquio, Kaoru Ishikawa, o diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito foi aplicado pela primeira vez em 1953 no Japão com o intuito de sintetizar as opiniões de engenheiros de uma fábrica quando problemas de qualidade eram discutidos (DANIEL; MURBACK, 2014).

Segundo Werkema (2006), “[...] é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado”.

Já de acordo com Daniel e Murback (2014), “[...] é uma representação gráfica que permite organizar informações para identificar as possíveis causas e efeitos de um problema”. E apesar do diagrama em si não identificar as causas do problema em discussão, ele funciona como um meio eficaz de organizar e potencializar a busca por essas causas.

Também conhecido como diagrama espinha de peixe e diagrama 6M, o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta da qualidade muito utilizada na fase de planejamento do ciclo PDCA. Partindo dos dados obtidos no gráfico de Pareto, é

uma ferramenta simples e eficaz que permite a identificação das possíveis causas de um determinado problema já mapeado (KUME, 1993).

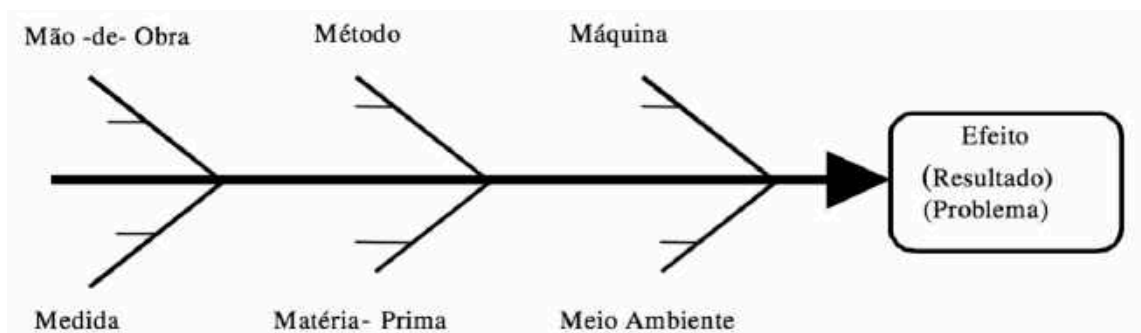
Segundo Bauer, Duffy e Westcott (2006), o diagrama de Ishikawa é tipicamente utilizado em conjunto com sessões de *brainstorming* possibilitando o levantamento de praticamente todas as possíveis causas de um problema. Tais causas são agrupadas no diagrama em seis famílias (6M): mão de obra, método, máquina, medida, matéria-prima e meio ambiente (MARIANI, 2005).

Seleme e Stadler (2012), explicam cada um dos 6M como segue:

- a) mão de obra: padrão da mão de obra utilizada, se está devidamente treinada, qualificada e se possui as habilidades necessárias;
- b) método: considera a forma como são desenvolvidas as ações, metodologia e procedimentos utilizados;
- c) máquina: adequado funcionamento do equipamento e operacionalização;
- d) medida: instrumentos de medição utilizados e forma de representação dos valores;
- e) matéria-prima: características dos materiais quanto à sua uniformidade e padrão;
- f) meio ambiente: situações de execução e/ou de infraestrutura do local de trabalho, como por exemplo calor, umidade, vibração, layout e falta de espaço.

De acordo com Seleme e Stadler (2012), os 6M representam as ações que produzem os efeitos ou os aspectos que caracterizam as causas. A figura 17 apresenta um típico exemplo de diagrama de Ishikawa.

Figura 17 - Representação gráfica do diagrama de Ishikawa



Fonte: (CAMPOS, 2014)

2.5.5 Matriz GUT

De acordo com Lucinda (2010), a matriz GUT é uma ferramenta simples e eficiente que auxilia os gestores na tarefa de priorização dos problemas, baseando-se na *Gravidade*, na *Urgência* e na *Tendência* que os problemas representam para as organizações.

Segundo Seleme e Stadler (2012), na matriz GUT o termo *Gravidade* “[...] diz respeito à importância do problema examinado em relação a outros apresentados”, o termo *Urgência* “[...] implica a ideia de quão importante é a ação temporal”, já o termo *Tendência* “[...] indica o sentido da gravidade do problema, se ele tende a crescer ou a diminuir com a ação do tempo”.

Ainda segundo Seleme e Stadler (2012), essa ferramenta além de estabelecer pesos de acordo com o nível de importância de cada fator, também considera o relacionamento existente entre eles, caracterizando assim a matriz.

De acordo com Meireles (2001), apesar dos termos *Gravidade*, *Urgência* e *Tendência* poderem ser avaliados quantitativa ou qualitativamente, sempre serão definidos por uma escala que vai de 1 a 5.

O quadro 3 apresenta um modelo conceitual para uma matriz GUT com fatores, pesos de avaliação e o resultado do relacionamento entre os três fatores (*Gravidade*, *Urgência* e *Tendência*).

Quadro 3 - Modelo conceitual de Matriz GUT

valor	gravidade	urgência	tendência	G . U . T
5	gravíssima	ação imediata	agravar rapidamente	125
4	muito grave	ação rápida	agravar no curto prazo	64
3	grave	ação normal	agravar no médio prazo	27
2	pouco grave	ação lenta	agravar no longo prazo	8
1	menor gravidade	pode esperar	acomodar	1

Fonte: (SELEME; STADLER, 2012)

Segundo Meireles (2001), a ferramenta da qualidade em estudo aplica-se sempre que precisamos priorizar ações dentre uma gama de opções e, apesar de poder ser aplicada individualmente, um resultado melhor é adquirido quando executada por um grupo de pessoas, pois os valores que precisam ser atribuídos aos fatores da matriz necessitam ser obtidos por consenso.

2.5.6 Cinco Porquês

Desenvolvido pelo professor Taiichi Ohno, a ferramenta cinco porquês consiste em perguntar “por que?” cinco vezes consecutivas até que se chegue á causa fundamental do problema (LUCINDA, 2010).

Partindo das potenciais causas (diagrama de Ishikawa e matriz de criticidade) dos problemas mapeados (gráfico de Pareto), a chave para elaboração de um plano de ação eficaz consiste na correta identificação da causa raiz do problema (TERNER, 2008).

De acordo com Bauer, Duffy e Westcott (2006), os cinco porquês é uma técnica bem simples que permite chegar a causa raiz de um problema, perguntando “por que?” após cada resposta várias vezes, sendo cinco um número figurativo. Fazendo isso, sintomas começam a serem revelados camada após camada até se chegar a verdadeira causa, conhecida como causa raiz do problema.

No entanto, parar no segundo ou terceiro porquê geralmente significa que a consulta não foi suficientemente profunda. E deixar de abordar a semente profundamente enraizada do problema significa que ele provavelmente se repetirá (SOBEK; JIMMERSON, 2004).

De acordo com Sobek e Jimmerson (2004), um guia possível para o sucesso da ferramenta cinco porquês é a pesquisa abordar pelo menos um dos três princípios básicos para o design de sistemas organizacionais apresentados abaixo:

- a) as atividades de trabalho são suficientemente especificadas de acordo com o conteúdo, a sequência, o tempo e o resultado?
- b) as conexões entre entidades são claras, diretas e imediatamente compreendidas?
- c) os caminhos pelos quais os bens / serviços viajam são simples, diretos e ininterruptos; todas as etapas são de valor agregado?

Tais princípios foram identificados por Spear e Bowen como o DNA do Sistema Toyota de Produção e, como ainda não foi encontrado um sistema com falha que não viole pelo menos um desses princípios, uma ajuda para a ferramenta em estudo é orientar o solucionador de problemas para considerar se atividades, conexões ou caminhos estão na raiz do problema (SOBEK; JIMMERSON, 2004).

2.5.7 5W1H

Após a identificação da causa raiz do problema, ações corretivas são estabelecidas, priorizadas e um plano de ação é formulado. Segundo Andrade (2003) esse plano de ação precisa conter as ações a serem executadas, definição dos responsáveis, prazo para execução e onde, porque e como serão executadas. Ainda segundo Andrade (2003), a metodologia usada para a construção desse plano de ação é a 5W1H.

O 5W1H é uma ferramenta da qualidade utilizada em casos em que se tem necessidade de criar um plano de ação tático para algo que não esteja saindo conforme o planejado e em um curto espaço de tempo. Por meio de questionamentos, a ferramenta em estudo permite orientar as ações a serem implementadas e os responsáveis por cada uma delas (DANIEL; MURBACK, 2014).

De acordo com Melo e Caramori (2001), a metodologia 5W1H consiste na elaboração e estruturação de um plano de ação baseado em seis perguntas do idioma inglês que são:

- a) What (o que): define o que será executado de forma sucinta;
- b) When (quando): define prazo de início e fim para a ação a ser executada;
- c) Who (quem): define responsável pela ação;
- d) Where (onde): define onde será executada a ação;
- e) Why (por que): define a justificativa para a execução da ação;
- f) How (como): define de forma detalhada como será executada a ação.

De acordo com Seleme e Stadler (2012), originalmente a ferramenta consistia apenas de 5Ws e 1H. No entanto, posteriormente foi acrescentado um último H que corresponde a “How Much” para fundamentar financeiramente a decisão tomada, transformando-se em 5Ws e 2Hs. Ainda segundo Seleme e Stadler (2012), as perguntas que fundamentam essa ferramenta “[...] têm como objetivo gerar respostas que esclareçam o problema a ser resolvido ou que organizem as ideias na resolução de problemas”.

Já Silva (2009) refere-se a ferramenta 5W2H como uma maneira de estruturar o pensamento de uma forma bem organizada e materializada,

possibilitando “[...] planejar um processo e analisá-lo de maneira lógica em relação ao desenvolvimento de um plano de ação”.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto foi realizado em uma linha de envase de uma cervejaria localizada no estado de São Paulo que envasa cerveja em garrafas long neck e possui uma produção nominal de 100 mil garrafas por hora.

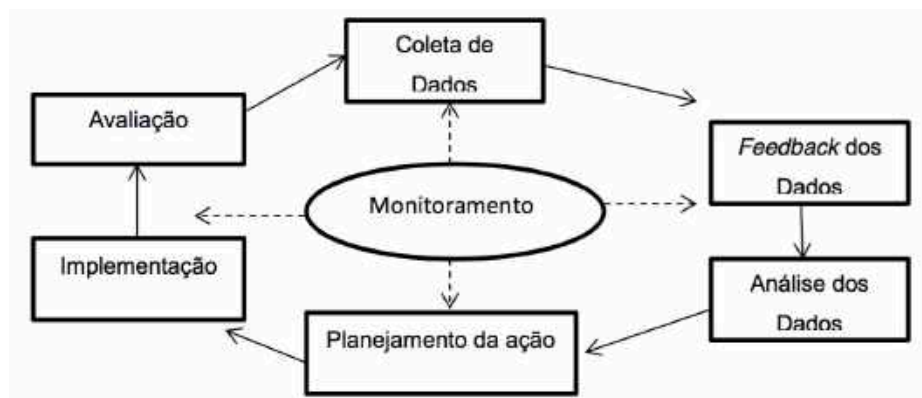
Com o objeto de aumentar a eficiência dos transportadores da linha em estudo, o ciclo PDCA foi aplicado por meio de um método de pesquisa-ação, com uma abordagem qualitativa e quantitativa e com objetivos exploratórios.

Pesquisa-ação é um termo genérico, que abrange muitas formas de pesquisa orientada para a ação, fornecendo uma ampla escolha para os pesquisadores usuários desse método quanto ao que pode ser apropriado para suas questões de pesquisa. Os resultados são tanto uma ação quanto uma pesquisa, diferentemente da ciência positivista tradicional que visa apenas criar conhecimento (COUGHLAN; COUGHLAN, 2002).

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002), cada ciclo do processo de pesquisa-ação acontece em 6 fases que são: coleta de dados, feedback dos dados, análise dos dados, planejamento das ações, implantação das ações e avaliação, com o monitoramento agindo como uma metáfase.

A figura 18 apresenta de forma ilustrativa as etapas para condução de uma pesquisa-ação.

Figura 18 - Esquema das etapas da pesquisa-ação



Fonte: Adaptado de Coughlan e Coughlan (2002)

Tomando por base as seis etapas da pesquisa-ação e associando-as com as fases do ciclo PDCA já discutidas anteriormente, conclui-se que:

- a) PLAN – Fase de Planejamento: engloba as etapas de coleta, feedback e análise dos dados, assim como a etapa de planejamento das ações do método pesquisa-ação;
- b) DO – Fase de Execução: refere-se à etapa de implantação das ações do método pesquisa-ação;
- c) CHECK – Fase de Verificação: refere-se à metáfase monitoramento do método pesquisa-ação;
- d) ACT – Fase de Validação: refere-se a etapa de avaliação do método pesquisa-ação.

3.1 FASE DE PLANEJAMENTO

De início, para começar o projeto foi necessário identificar e entender o real impacto causado pelos elementos transportadores dentro da linha de produção fonte de estudo. Para isso, com base em um relatório gerado do banco de dados da empresa, foi estruturada uma análise trimestral contendo informações sobre a ineficiência de todos os equipamentos da linha de envase.

A análise trimestral estruturada permitiu ter uma visão histórica da evolução da ineficiência de todos os equipamentos ao longo de 52W (52 weeks ou 1 ano), 12W (12 weeks ou 3 meses) e 4W (4 weeks ou 1 mês).

Em seguida, foi realizada uma estratificação que buscou entender como a ineficiência referente aos elementos transportadores se comportava especificamente por trecho.

Assim, tal estratificação subdividiu os transportadores da linha em estudo em cinco grandes grupos:

- a) **TRP DPL-ECH**: trecho de transporte da Despaletizadora até a Enchedora;
- b) **TRP ECH-PZ**: trecho de transporte da Enchedora até o Pasteurizador;
- c) **TRP PZ-ROT**: trecho de transporte do Pasteurizador até a Rotuladora;
- d) **TRP ROT-EPC**: trecho de transporte da Rotuladora até a Empacotadora;
- e) **TRP EPC-PL**: trecho de transporte da Empacotadora até a Paletizadora.

A partir dessa primeira estratificação, foi realizada uma nova análise trimestral contendo somente informações de ineficiência referente aos cinco

trechos de transportes. Em seguida, foi construído um diagrama de Pareto com as informações do último trimestre (12W) com o intuito de identificar os trechos de transporte mais críticos da linha.

Então, uma segunda estratificação foi realizada de modo a entender quais componentes desses transportadores (elementos finais) eram os mais problemáticos e críticos. A partir dessa segunda estratificação foi construído um outro diagrama de Pareto, dessa vez voltado para componentes.

A partir das informações do segundo diagrama de Pareto, que apontou os componentes críticos e responsáveis pela maior parcela dos problemas, foi construído um diagrama de Ishikawa para cada um desses principais problemas.

Para a construção dos diagramas de Ishikawa foi realizado um *brainstorming* com a equipe de técnicos, equipe de operadores e equipe de liderança a fim de levantar todas as hipóteses e prováveis causas dos problemas.

Em seguida, dando continuidade à análise dos problemas, foi montada uma matriz GUT para priorização das causas levantadas no diagrama de Ishikawa. Tal matriz foi elaborada em conjunto com a equipe de técnicos, operadores e liderança e tomando como base observação em campo e histórico de ocorrência, atribuindo valores de 1 a 5 para os termos Gravidade, Urgência e Tendência.

De posse das potenciais causas apontadas pela matriz GUT, a ferramenta “Cinco Porquês” foi aplicada com o intuito de chegar até a causa raiz dos problemas.

Após a definição da causa raiz dos problemas e como última etapa da fase de planejamento, foi elaborado um plano de ação utilizando a ferramenta 5W1H com definição de prazos e donos para as ações.

Importante destacar que tanto o “Cinco Porquês” quanto a estruturação do plano de ação foram elaborados com a ajuda da equipe de técnicos, operadores e liderança e tomando como base observação em campo e histórico de ocorrência.

3.2 FASE DE EXECUÇÃO

Nesta fase todas as ações definidas na fase de planejamento foram executadas para bloquear as causas fundamentais do problema.

Nesta fase foi essencial o treinamento e capacitação das pessoas responsáveis pela execução das ações, o cumprimento dos prazos definidos

previamente e a verificação em campo como meio de validação das ações executadas.

Assim como no método de pesquisa-ação, a medida que as ações foram executadas, verificações foram sendo feitas como forma de atestar a eficácia ou não das ações traçadas.

Tais verificações se basearam em acompanhar a evolução do rendimento próprio dos elementos transportadores semana a semana e a evolução do número de garrafas tombadas, que passou a funcionar com um termômetro da condição vigente dos transportes.

3.3 FASE DE VERIFICAÇÃO

Na etapa de verificação, os dados iniciais foram comparados com os resultados obtidos após a execução das ações traçadas. Nessa fase foi possível ter noção se os problemas foram analisados de forma correta e se o plano de ação elaborado foi eficiente no bloqueio das causas fundamentais desses problemas.

Nessa etapa, foi estruturada uma nova análise trimestral contemplando dados de ineficiência do período após o cumprimento do plano de ação para comparar com os resultados anteriores ao projeto.

Também foi realizado uma análise referente ao número de garrafas tombadas antes, durante e após a execução do plano de ação.

3.4 FASE DE VALIDAÇÃO

Como última fase do ciclo, na fase de validação foi realizado uma análise crítica de tudo que foi realizado durante o projeto, padronizando ações que deram certo com o intuito de reduzir e até eliminar o problema e corrigindo o que não deu certo, retornando assim para o começo do ciclo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FASE 1: PLANEJAMENTO

4.1.1 Identificação e observação do problema

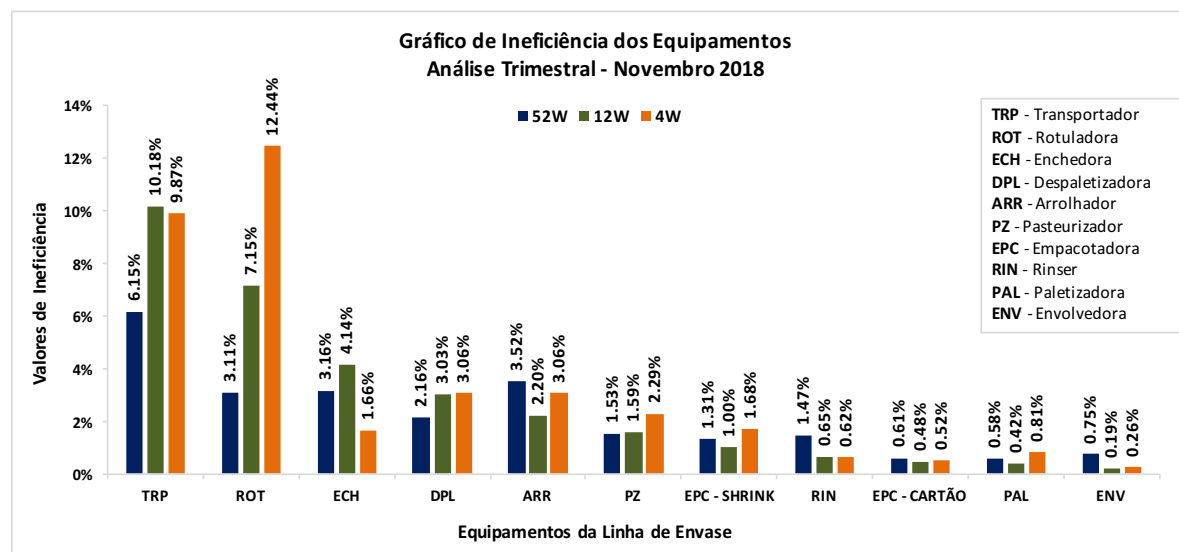
Na busca de entender o real impacto causado pelos elementos transportadores na linha de produção em estudo, a primeira etapa do projeto consistiu na identificação do problema.

Assim, com base em um relatório gerado do banco de dados da empresa, foi estruturada uma análise trimestral que permitiu ter uma visão da ineficiência de todos os equipamentos da linha de envase em estudo, assim como uma visão histórica desse impacto no período de 1 ano (52W), 3 meses (12W) e 1 mês (4W).

Como o projeto se iniciou em dezembro de 2018, o período de 1 ano englobou dados de dezembro de 2017 a novembro de 2018, o período de 3 meses envolveu dados de setembro de 2018 a novembro de 2018 e o período de 1 mês contemplou dados do mês de novembro de 2018.

A figura 19 apresenta a análise trimestral que foi estruturada na busca de entender o problema que os transportadores representavam para a linha de envase frente aos demais equipamentos, e assim identificar o problema tema do presente projeto.

Figura 19 - Gráfico de Ineficiência dos equipamentos da linha de envase - Nov. 2018



Fonte: Próprio autor

Analisando o gráfico da figura 19 é possível constatar que, no trimestre em análise, os transportes foram responsáveis pela maior parte da ineficiência da linha, com um impacto de 10,18%. Assim, trazendo para o contexto de Rendimento Próprio, percebe-se que esses elementos renderam no período em análise apenas 89,82% do esperado.

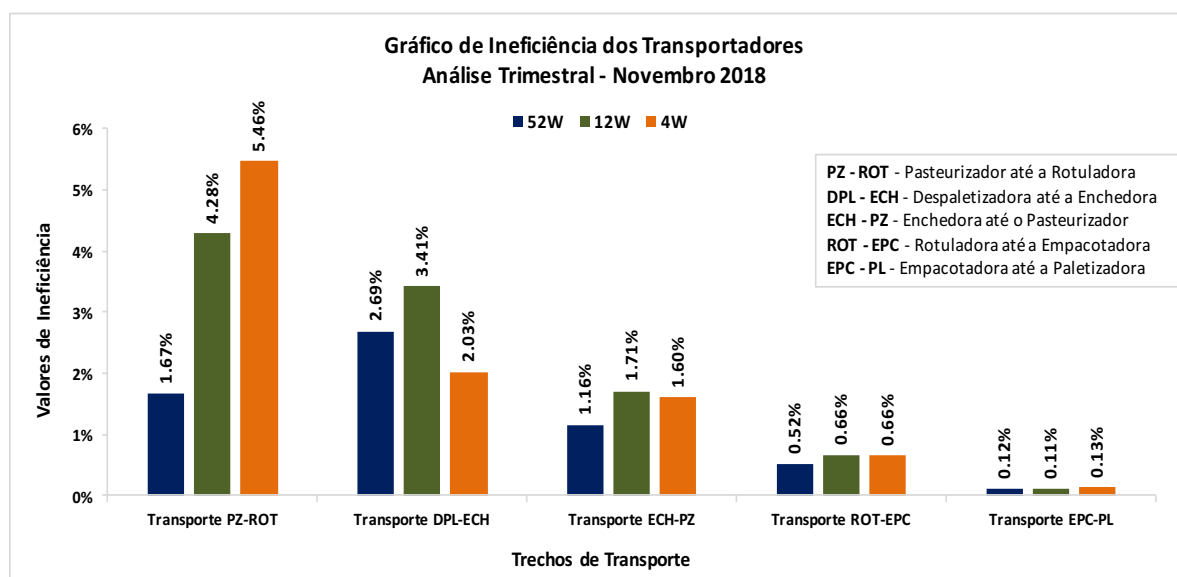
Todas as máquinas e equipamentos da linha de produção possuem meta de rendimento próprio, e para o caso específico dos transportes essa meta é de 95,74%. Desta forma, em uma análise mais criteriosa, constata-se uma lacuna (*gap*) de 5,92% entre a meta e o rendimento.

Em resumo, além dos transportadores da linha não estarem batendo a meta de rendimento próprio estipulada, eram os responsáveis pela maior parcela da ineficiência da linha de produção em estudo.

Conforme explicado anteriormente, uma linha de envase é composta por vários trechos de transporte. Assim, já na etapa de observação do problema, realizou-se uma estratificação com o intuito de entender como a ineficiência total dos transportes estava dividida por trecho. O resultado dessa estratificação também foi consolidado sob a forma de análise trimestral e está apresentado na figura 20.

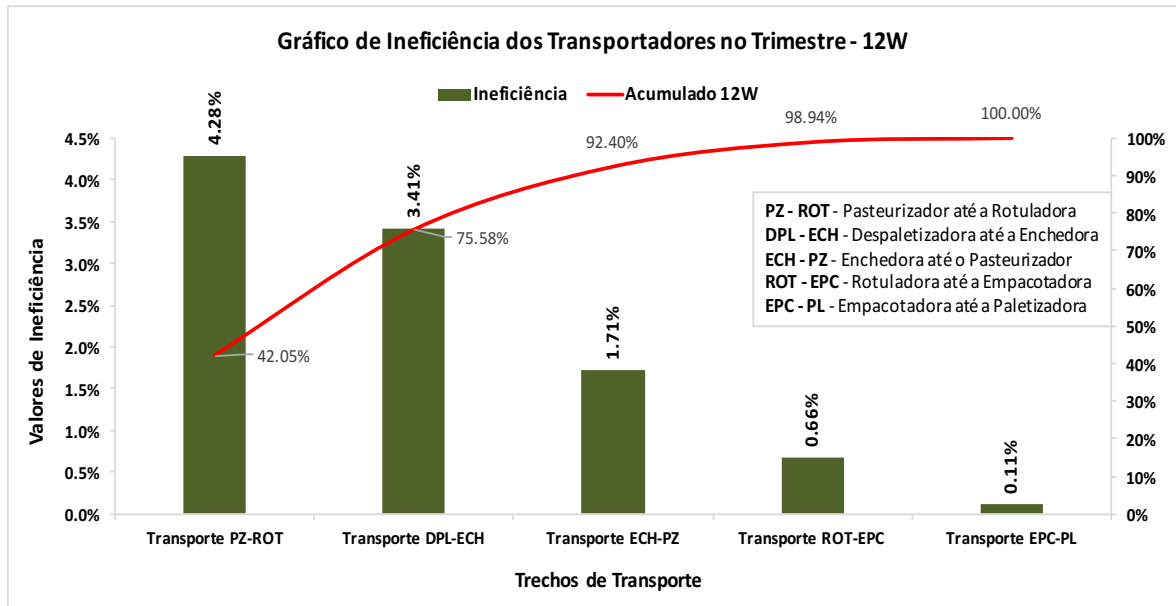
Dessa estratificação, construiu-se um diagrama de Pareto com os dados do trimestre (12W), conforme apresentado na figura 21.

Figura 20 - Gráfico de Ineficiência dos Transportadores - Nov. 2018



Fonte: Próprio autor

Figura 21 - Diagrama de Pareto de ineficiência por trecho de transporte



Fonte: Próprio autor

Analisando o gráfico da figura 20, nota-se que o trecho de transporte com maior impacto na ineficiência da linha é o trecho PZ-ROT com 4,28% e o de menor impacto é o trecho EPC-PL com 0,11% de ineficiência no trimestre. Em uma análise mais profunda, nota-se também que o trecho PZ-ROT apresenta um aumento de ineficiência - ou queda de rendimento - bastante acentuada no mês (4W), com uma ineficiência atingindo o patamar de 5,46%.

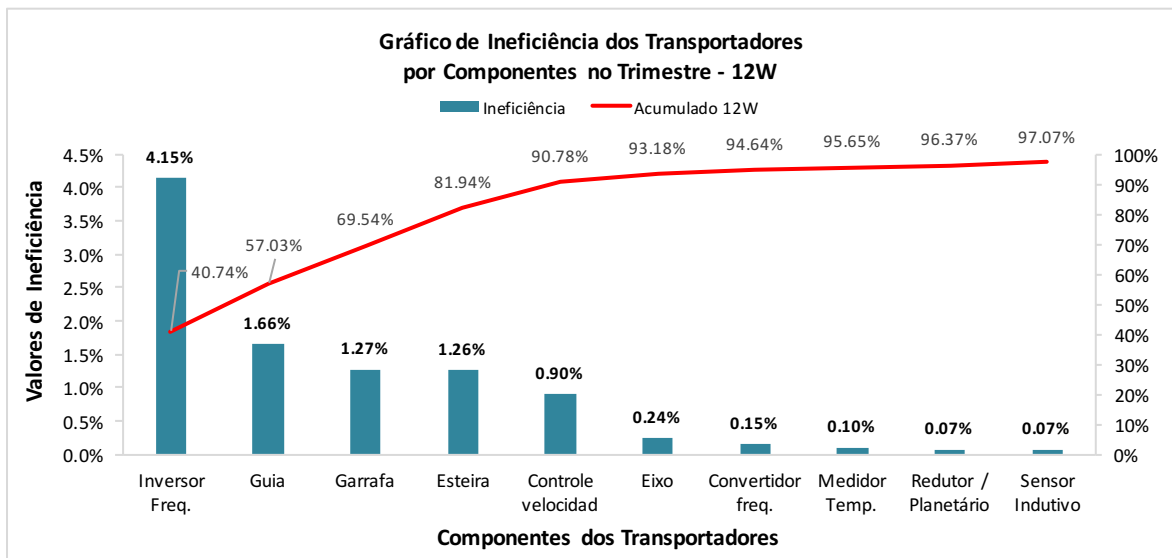
Correlacionando com o já discutido anteriormente sobre os tipos de transporte, dos 5 trechos de transportes apresentados, os 4 maiores impactos são referentes a transportes de garrafa e o de menor impacto refere-se a um transporte de pacote. Ou seja, quase que a totalidade dos problemas de transporte da linha em estudo está voltada para transporte de garrafas.

Já analisando o diagrama da figura 21, percebe-se que tratando os dois primeiros itens de maior impacto do gráfico de Pareto consegue-se eliminar 75,58% do problema. No entanto, como são transportes similares e que funcionam sob a mesma dinâmica, por meio de observação em campo e pela frequência de ocorrências, constatou-se que na maioria das vezes os problemas apresentados em um trecho se repetiam de forma similar nos demais. Assim, ações desenvolvidas para um trecho deviam de forma mais ampla também se replicar para os demais. Desta forma, optou-se por tratar o problema transporte em sua

totalidade e não distinguindo trechos. Aqui, o conceito de Pareto foi utilizado apenas para direcionar quais trechos seriam tratados em primeiro.

Como forma de identificar quais partes dos transportadores eram responsáveis pelas maiores parcelas de ineficiência, uma nova estratificação foi realizada buscando identificar os componentes finais e fundamentais responsáveis pelo problema. Dessa estratificação, construiu-se um novo diagrama de Pareto com os valores de ineficiência atribuídos por componentes, conforme apresentado na figura 22.

Figura 22 - Diagrama de Pareto de ineficiência por componentes do transporte



Fonte: Próprio autor

Analisando o diagrama de Pareto da figura 22, é possível perceber que 81,94% do problema de ineficiência está concentrado em apenas 4 componentes. Desta forma, baseando-se no conceito de Pareto, conclui-se que ações precisam ser direcionadas para esses 4 primeiros componentes em vista de solucionar o problema.

No entanto, também em uma análise mais aprofundada desses componentes e mediante análise em campo, nota-se que o item “Garrafa” não é de fato um componente dos transportes, sendo a parcela de ineficiência atribuída a esse item explicada devido ao problema das “garrafas tombadas”. Desta forma, entende-se que o item “garrafa” não se encaixa como uma das causas fundamentais de ineficiência, mas sim como um efeito secundário proporcionado

pelas “garrafas tombadas”, ou seja, o importante é investigar onde e porque essas garrafas tombam nos transportadores.

Assim, diante do exposto, dos componentes dos transportadores apresentados no diagrama de Pareto da figura 22, os que de fato foram tratados como aspectos responsáveis pelo problema de ineficiência dos transportes são: inversor de frequência, guia e esteira.

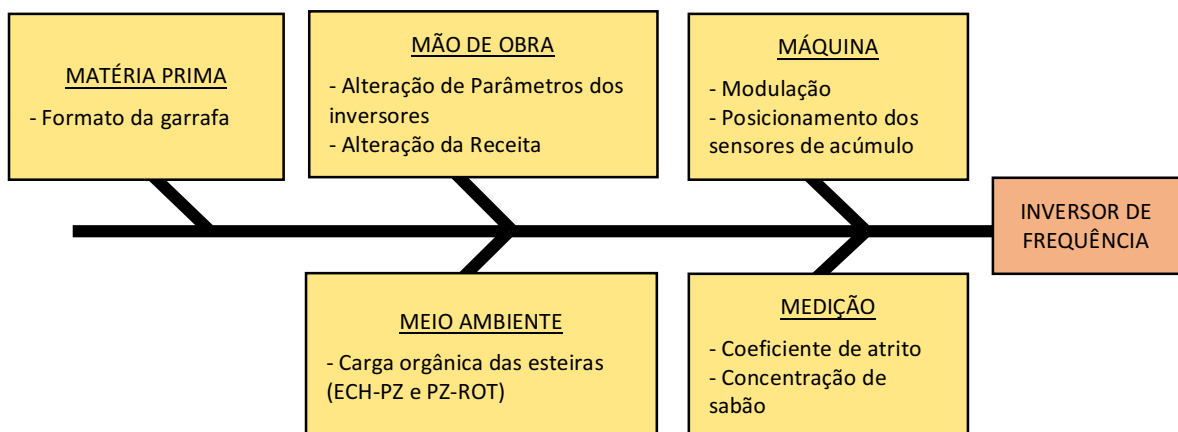
4.1.2 Apuração das Causas

Após a identificação dos aspectos críticos, foi realizada uma investigação com o intuito de levantar todas as possíveis causas que poderiam estar afetando o componente mapeado. Para isso, uma sessão de *Brainstorming* foi realizada com a equipe de técnicos, liderança e alguns operadores que possuíam conhecimento técnico, em que eles tiveram total liberdade para expor suas ideias, propor soluções e compartilhar experiências já vivenciadas do problema em discussão.

Nessa investigação, foi construído um diagrama de Ishikawa para cada um dos componentes identificados como críticos, e as hipóteses levantadas da sessão de *Brainstorming* foram agrupadas nos diagramas de Ishikawa sob a forma dos 6Ms (matéria prima, mão de obra, máquina, método, meio ambiente e medição).

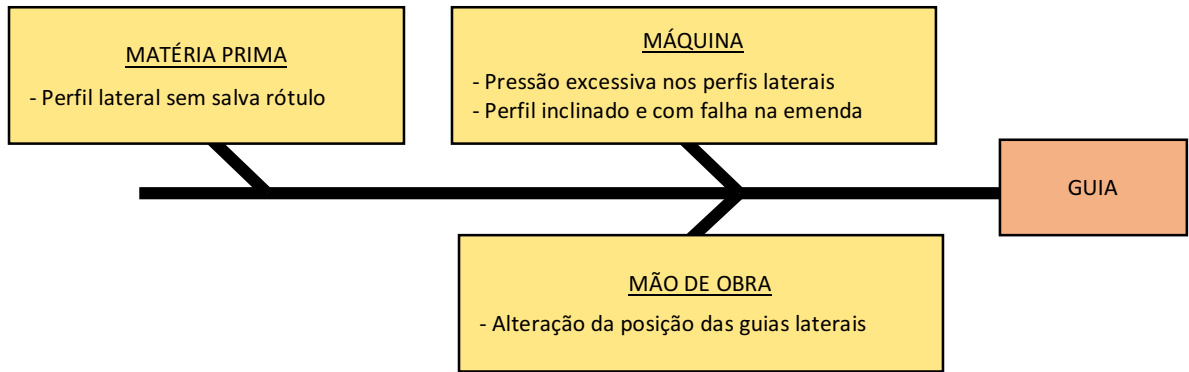
As figuras 23, 24 e 25 apresentam os Diagramas de Ishikawa construídos para cada um dos componentes críticos (inversor de frequência, guia e esteira).

Figura 23 - Diagrama de Ishikawa do componente Inversor de Frequência



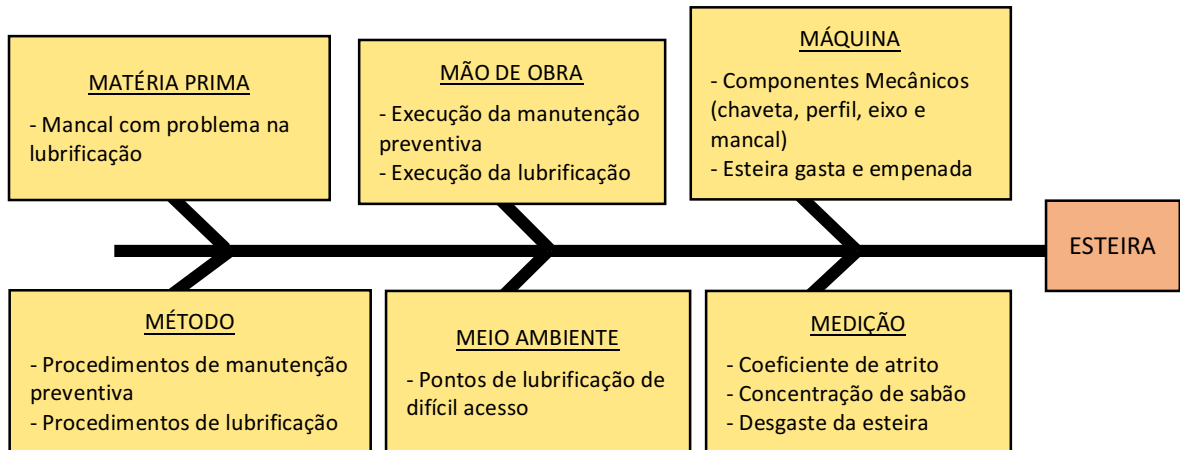
Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Diagrama de Ishikawa do componente Guia



Fonte: Próprio autor

Figura 25 - Diagrama de Ishikawa do componente Esteira



Fonte: Próprio autor

4.1.3 Priorização das Causas

Em posse de todas as possíveis causas levantadas na sessão de *Brainstorming* e que foram organizadas nos Diagramas de Ishikawa, foi montada uma matriz GUT para priorização dessas causas, uma vez que se notou que muitas delas possuíam baixo impacto no resultado. Assim, uma análise crítica de cada uma dessas causas foi realizada em conjunto com a equipe de técnicos, operadores e liderança e tomando como base observação em campo e histórico de ocorrências.

Os quadros 4, 5 e 6 a seguir apresentam as matrizes GUT construídas para as causas levantadas em cada um dos diagramas de Ishikawa apresentados anteriormente. Para estruturação dessa matriz, valores de 1 a 5 foram atribuídos

para os termos gravidade, urgência e tendência, com a coluna “total” representando a multiplicação dos valores atribuídos a cada um desses termos.

O critério adotado para a atribuição dos valores foi o apresentado por Seleme e Stadler em 2012 e que se encontra detalhado no quadro 3, apresentado anteriormente.

Quadro 4 - Matriz GUT das causas do Inversor de Frequência

Priorização das Causas Potenciais - Inversor de Frequência				
Causa Influyente	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Modulação	5	5	5	125
Alteração dos parâmetros dos inversores	5	5	5	125
Coeficiente de atrito	4	5	5	100
Concentração de sabão	4	5	5	100
Alteração da receita	4	4	5	80
Carga orgânica das esteiras (ECH-PZ e PZ-ROT)	3	3	3	27
Posicionamento dos sensores de acúmulo	2	3	3	18
Formato da garrafa	2	1	1	2

Fonte: Próprio autor

Quadro 5 - Matriz GUT das causas do Guia

Priorização das Causas Potenciais - Guia				
Causa Influyente	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Perfil lateral sem salva rótulo	5	5	5	125
Perfil lateral inclinado e com falha na emenda	4	5	5	100
Alteração da posição dos guias laterais	4	4	4	64
Pressão excessiva nos guias laterais	3	3	4	36

Fonte: Próprio autor

Quadro 6 - Matriz GUT das causas da Esteira

Priorização das Causas Potenciais - Esteira				
Causa Influyente	Gravidade	Urgência	Tendência	Total
Componentes mecânicos	5	5	5	125
Execução da manutenção preventiva	5	5	4	100
Mancal com problema na lubrificação	5	4	5	100
Pontos de lubrificação de difícil acesso	5	4	5	100
Procedimentos de lubrificação	5	5	4	100
Procedimentos de manutenção preventiva	4	4	4	64
Execução da lubrificação	4	4	4	64
Esteira gasta e empenada	3	3	4	36
Desgaste da esteira	3	3	3	27
Coeficiente de atrito	2	2	2	8
Concentração de sabão	2	2	2	8

Fonte: Próprio autor

Para priorização das causas tomou-se como base os valores da coluna total que é o resultado da multiplicação dos valores atribuídos para os termos gravidade, urgência e tendência. Assim, entende-se que quanto maior esse valor, maior o impacto dessa causa diante do problema em análise, ou seja, são essas as causas que precisam serem priorizadas para a solução do problema.

Da priorização das causas referente ao “inversor de frequência” e apresentada no quadro 4, conclui-se que o foco deve ser voltado para modulação, alteração do parâmetro dos inversores, coeficiente de atrito e concentração de sabão, uma vez que são as causas influentes com maior impacto no resultado final.

Da priorização das causas apresentada no quadro 5, conclui-se que das causas apontadas para o termo “guia”, o foco deve estar voltado para perfil lateral que é um item comum às duas causas influentes de maior impacto.

Já da priorização das causas referente ao termo “esteira” e apresentada no quadro 6, conclui-se que o foco deve estar voltado para componentes mecânicos, execução da manutenção preventiva e lubrificação, que são as causas influentes com maior impacto no resultado final. Em relação à lubrificação, nota-se que é um aspecto comum em três das cinco principais causas influentes englobando problema em mancais, pontos de difícil acesso e procedimentos.

4.1.4 Análise das Causas

Feita a priorização das principais causas do problema, foi aplicada a ferramenta “Cinco Porquês” para uma análise mais profunda e para se encontrar a causa raiz. Para isso, o conhecimento técnico da equipe de técnicos, da equipe de liderança e de alguns operadores, assim como a vivência em campo, foi fundamental para se chegar à causa raiz do problema e então traçar um plano de ação para aumentar a eficiência dos transportadores da linha de produção em estudo.

O quadro 7 detalha a utilização da técnica dos “Cinco Porquês” para uma investigação mais profunda das causas priorizadas anteriormente na Matriz GUT.

Quadro 7 - Cinco Porquês utilizado para analisar as causas dos problemas dos transportadores

PROBLEMA	CLASSIFICAÇÃO	1º PORQUE	2º PORQUE	3º PORQUE	4º PORQUE	5º PORQUE	6M	SAÍDAS
Modulação	Natural	Garrafas tombando em trechos específicos de TRP	Excesso de pressão nos trechos	Erro nos valores dos parâmetros dos inversores de frequência (rampa de aceleração e desaceleração)	Falha de modulação	Erro de projeto	Máquina	<ul style="list-style-type: none"> - Acionar equipe de automação para corrigir modulação dos TRPs - Travar a alteração de valores da receita pelos técnicos - Padronizar a posição das guias laterais (sobretudo dos alinhadores)
Parâmetro dos inversores	Forçada				Excesso de alterações em parâmetros	Tentativa dos técnicos em corrigir o problema de modulação	Mão de obra	
Concentração de sabão e Coeficiente de atrito	Forçada	Garrafas tombando ao longo dos TRPs	Coeficiente de atrito da garrafa com a esteira elevado	Baixa concentração de sabão nas esteiras	Problema na dosagem de sabão	Alteração na dosagem das bombas de sabão pelos operadores e técnicos da Ecolab sem aviso prévio	Medição	<ul style="list-style-type: none"> - Padronizar a concentração de sabão e coeficiente de atrito ideais para a linha - Instalar cadeados duplos nas bombas dosadoras de sabão
Perfil lateral	Forçada	Garrafas tombando no TRP	Garrafas tombando no contato com o perfil lateral do TRP	Atrito do corpo da garrafa com o perfil lateral	Perfil sem salva-rótulo	Erro de projeto	Material	<ul style="list-style-type: none"> - Substituir os perfis sem salva-rótulos para perfis com salva-rótulo - Checar alinhamento dos perfis laterais
					Perfil inclinado e com falha na emenda	Falha na montagem (erro de projeto)	Mão de Obra	
Componentes mecânicos	Forçada	TRPs parando em produção (Quebra Mecânica)	Problema em 1 ou mais componentes mecânicos (roda, eixo, chaveta, perfil e mancal)	Componentes danificados e gastos	Falha nas inspeções preventivas (superficiais)	Manutenções concentradas em ordens corretivas	Mão de Obra	<ul style="list-style-type: none"> - Criar uma "equipe de TRP" da linha - Treinar operação na ferramenta Toolkit de TRP - Executar a manutenção preventiva de TRPs nas oportunidades de linha parada - Mapear todos os TRPs da linha - Mapear os trechos com anomalias detectadas - Criar sistema de gestão voltado para TRP
Execução da manutenção preventiva				Falha na priorização dos problemas e dos trechos críticos	Falta de uma equipe fidelizada em TRP	Inexistência de um modelo de gestão voltado para TRP	Método	
Lubrificação	Forçada	Esteiras travando e encavalando em produção (Quebra Mecânica)	Desalinhamento das rodas de tração	Folga no conjunto eixo/mancal (Mancal danificado)	Falha na Lubrificação	Mancal com problema de lubrificação	Matéria prima	<ul style="list-style-type: none"> - Substituir os mancais internos danificados e adequar lubrificação - Revisar o Toolkit de Lubrificação - Mudar os pontos de lubrificação de difícil acesso para locais de melhor acesso
						Toolkit de Lubrificação desatualizado	Método	
						Local de difícil acesso para lubrificação	Meio Ambiente	

Fonte: Próprio autor

Analisando o quadro 7 é possível perceber que, por meio do uso da ferramenta Cinco Porquês, conseguiu-se chegar a 10 causas raiz referentes ao problema dos transportadores, as quais estão alocadas na coluna referente ao 5º Porquê.

Já analisando as causas raiz levantadas, nota-se que todas foram classificadas tomando por base os 6Ms – Máquina, Mão de Obra, Método, Matéria Prima, Medição e Meio Ambiente – e apontadas como deterioração forçada (um evento que contribuiu por acelerar um desgaste ou reduzir a vida útil de um determinado componente) ou desgaste natural (tempo de vida útil atingido ou erro de concepção do projeto).

O quadro 7 apresenta também uma coluna de “saídas”, a qual contempla as ações propostas para tratar cada uma das causas raiz levantadas.

4.1.5 Elaboração do Plano de Ação

Finalizado a etapa da investigação das causas raiz e em posse das ações propostas para tratá-las, foi estruturado um plano de ação em conjunto com a equipe de técnicos, operadores e liderança utilizando a ferramenta 5W1H, com definição de prazos e responsáveis.

O quadro 8 a seguir apresenta o Plano de Ação desenvolvido para tratar o problema dos transportes da linha de envase em estudo, utilizando a ferramenta 5W1H.

Quadro 8 - Plano de Ação elaborado utilizando a ferramenta 5W1H

CAUSA	What? (O quê?)	Who? (Quem?)	Where? (Onde?)	Why? (Por quê?)	When? (Quando?)	How? (Como?)
Modulação e Parâmetro dos inversores	Corrigir a modulação dos Transportes	Equipe de Automação	Programa de modulação dos Transportes	Eliminar o problema de tombamento de garrafas nos transportadores	JUN 2019	Corrigindo a lógica de controle dos sensores de acúmulo e ajustando valores de velocidades e rampas de aceleração e desaceleração
	Padronizar a posição das guias laterais (sobretudo dos alinhadores)	Caique e Equipe de Operadores	Guias laterais dos transportes	Definir a correta posição das guias laterais para evitar alterações que impactam diretamente na modulação (Fluxo de garrafas com pressão excessiva ou com espaçamento indevido)	ABR 2019	Realizando marcações físicas com o uso de arco de serra e marcador industrial nas hastes laterais dos transportes
	Travar a alteração de valores da receita pelos técnicos	Equipe de Automação	Painel IHM	Evitar mudanças indevidas e desnecessárias dos parâmetros de modulação por pessoas não autorizadas	JUN 2019	Criando senha com acesso restrito à equipe de automação
Concentração de sabão e Coeficiente de atrito	Padronizar a concentração de sabão e coeficiente de atrito ideais para a linha	Caique, Supervisão e Empresa Terceirizada	Transportes da linha de produção	Eliminar o problema de tombamento de garrafas nos transportadores	MAR 2019	Supervisão e Empresa Terceirizada definindo valores de Coeficiente de Atrito e Concentração de Sabão que atendam à todos os trechos de transporte da linha, por meio de medições desses parâmetros em campo
	Instalar cadeados duplos nas bombas dosadoras de sabão	Supervisão e Empresa Terceirizada	Bombas dosadoras de sabaão lubrificante	Evitar alterações nos parâmetros de dosagem das bombas de sabão (em excesso pela operação e em escassez pela Empresa Terceira)	MAR 2019	Instalando cadeados duplos no compartimento das bmbas dosadoras - um cadeado sob responsabilidade da Linha e outro sob responsabilidade da Empresa Terceirizada
Perfil lateral	Substituir os perfis sem salva-rótulos para perfis com salva-rótulo	Empresa Terceirizada	Transportes da linha de produção	Evitar que o corpo da garrafa fique em contato com o perfil lateral	MAR 2019	Empresa Terceirizada substituindo todos os perfis laterais sem salva-rótulos instalados incorretamente nos trechos de transporte por perfis com salva-rótulo
	Checar alinhamento dos perfis laterais	Caique e Equipe de Operadores	Transportes da linha de produção	Evitar que as garrafas tombem ao entrar em contato com perfis laterais desalinhados	MAR 2019	Inspeccionando os perfis laterais de todos os trechos de transporte, analisando desalinhamento e inclinação

Componentes mecânicos e Execução da manutenção preventiva	Criar uma "Equipe de Transporte" da linha de produção	Caique e Supervisão	Linha de produção	Fidelizar operadores e técnicos como "donos" e responsáveis pelos transportes da linha de produção	MAI 2019	Escolhendo operadores e técnicos que tenham conhecimento e predisposição para formar uma equipe que passará a atuar em problemas relacionados aos transportes
	Treinar equipe de operadores na ferramenta Toolkit de Transporte	Caique	Sala de reunião da linha	Transmitir conhecimento sobre a importância dos transportes, os problemas mais recorrentes e o que se espera de uma manutenção/inspeção bem executada	MAI 2019	Reunindo toda a equipe de operadores e técnicos em sala, utilizando uma apresentação em Power Point e distribuindo um material impresso com informações sobre o funcionamento dos transportes, os pontos mais críticos, como resolver os problemas mais recorrentes e o que se espera de uma inspeção preventiva bem executada
	Executar a manutenção preventiva de transporte nas oportunidades de linha parada	Equipe de Operadores	Transportes da linha de produção	Evitar que os transportes venham a apresentar problemas em produção	MAI 2019	Direcionando a Equipe de Transporte em oportunidades de linha parada para os trechos de transportes com problemas mapeados, eliminando todos os passivos encontrados e deixando o trecho 100%
	Mapear todos os transportes da linha	Caique	Sala de reunião da linha	Facilitar a visualização em discussões sobre problemas relacionados aos transportes	FEV 2019	Criando um mapa em Excel da linha de produção com visão detalhada de todos os transportes, trecho a trecho.
	Mapear os trechos com anomalias detectadas	Caique	Sala de reunião da linha	Levantar todos os trechos de transportes que não estejam funcionando adequadamente (passivos) para posterior priorização	MAR 2019	Criando uma planilha em Excel com a descrição da anomalia encontrada e a qual trecho se refere
	Criar sistema de gestão voltado para transporte	Caique	Sala de reunião da linha	Para ter uma visão geral de todas as manutenções já realizadas, trechos de transporte com problemas identificados e trechos críticos (quebra eminente)	MAR 2019	Utilizando o mapa criado em Excel e fazendo uso das cores verde, laranja e vermelho para destacar respectivamente: trechos 100%, trechos com anomalias e trechos críticos
Lubrificação	Substituir os mancais internos danificados e adequar lubrificação	Equipe de Operadores	Transportes da linha de produção	Evitar que os transportes venham a apresentar problemas em produção	JUN 2019	Direcionando a Equipe de Transporte em oportunidades de linha parada para substituir os mancais danificados e corrigir a lubrificação dos mancais internos
	Revisar o Toolkit de Lubrificação	Caique	Sala de reunião da linha e Transportes da linha de produção	Contemplar 100% dos pontos que necessitam de lubrificação, em especial os internos	JUN 2019	Levantando no campo todos os locais referente aos transportes que necessitam de lubrificação e atualizando o arquivo existente
	Mudar os pontos de lubrificação de difícil acesso para locais de melhor acesso	Equipe de Operadores	Transportes da linha de produção	Facilitar o processo de lubrificação e evitar que esses pontos de difícil acesso fiquem sem ser lubrificados	JUN 2019	Modificando a posição e instalando novos bicos de lubrificação na longarina dos transportes em locais de fácil acesso

Fonte: Próprio autor

Ao final da elaboração do Plano de Ação, as ações traçadas foram endereçadas a seus respectivos donos e deu-se início à etapa de execução.

4.2 FASE 2: EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

4.2.1 Modulação e Parâmetros dos Inversores

Para carácter de ilustração, a figura 26 apresenta um típico problema de modulação que era possível acompanhar em diversos trechos de transporte da linha de envase em estudo. Em situações de acúmulo do transportador posterior, por um erro na lógica de funcionamento, o transporte anterior ao invés de ir diminuindo sua velocidade até a completa parada, ele continuava funcionando normalmente, ocasionando assim um tombamento de garrafas massivo como ilustrado na imagem abaixo.

Figura 26 - Ilustração de um típico problema de Modulação

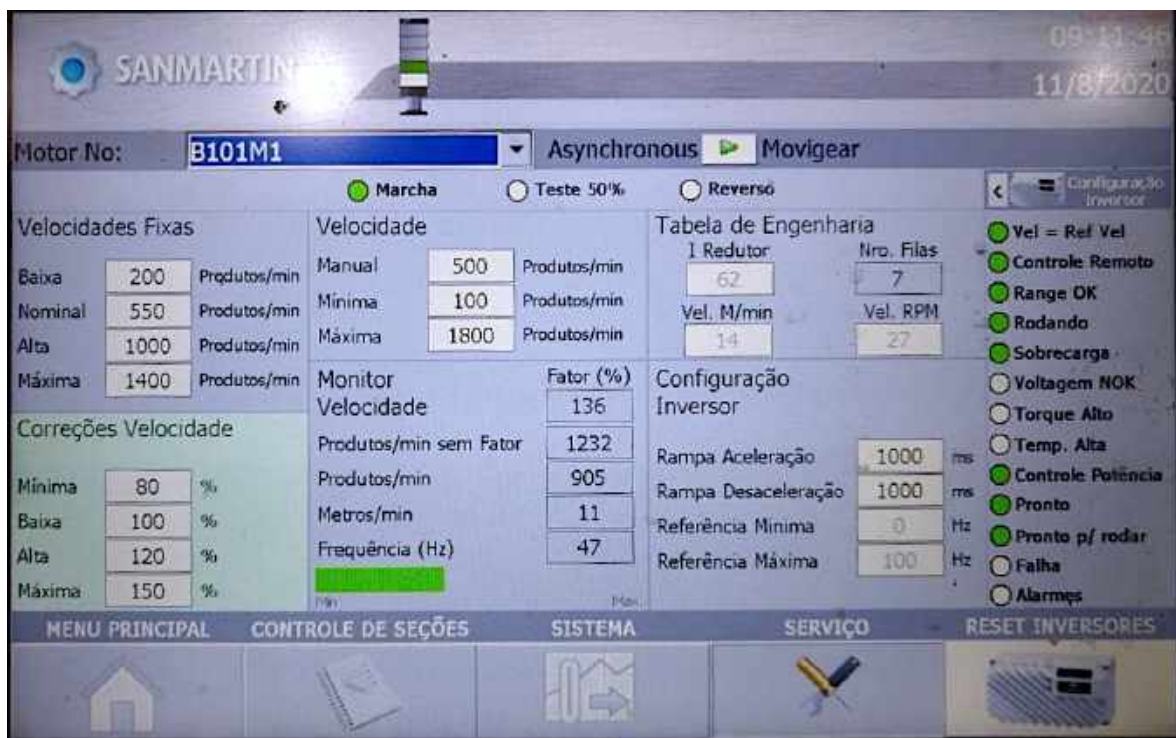


Fonte: Próprio autor

Para o problema de Modulação, a equipe de automação foi acionada para corrigir a lógica de controle dos sensores de acúmulo, ajustar as velocidades dos motores, assim como os valores das rampas de aceleração e desaceleração.

A figura 27 ilustra os diversos fatores que influenciam na velocidade de um motor transportador assim como toda a complexidade envolvida no ajuste e correção de sua lógica de funcionamento.

Figura 27 - Fatores de velocidade típicos de um motor de transporte

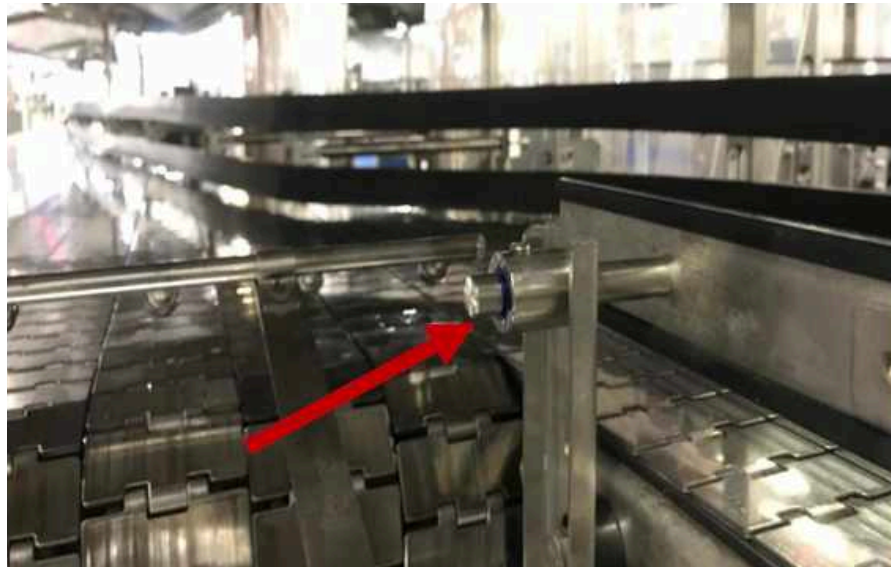


Fonte: Próprio autor

Concluída essa ação, conseguiu-se obter uma grande evolução nos valores de rendimento próprio dos transportes, assim como um grande ganho de performance na linha. No entanto, outras duas ações se mostraram necessárias para garantir a manutenção do sucesso atingido que foram, a padronização da posição das guias laterais e a limitação do acesso aos parâmetros dos motores por meio de senha.

Como as guias laterais permitem regulação tanto para aumentar quanto para reduzir o fluxo de garrafas que passam por um determinado trecho de transporte, a padronização de seus posicionamentos se fez necessária pois, em ambas as situações, uma simples alteração tinha poder de comprometer toda a modulação já ajustada previamente. Assim, foram feitas marcações físicas em todas as guias laterais com uso de arco de serra e marcador industrial como forma de padronização de posição, conforme ilustrado na figura 28.

Figura 28 - Padronização da posição das guias laterais



Fonte: Próprio autor

Já com relação ao acesso aos fatores dos motores, foi necessária uma limitação por meio de senha para barrar alterações indiscriminadas e muitas vezes desnecessárias por parte dos operadores e assim garantir que apenas os técnicos capacitados e autorizados tivessem acesso livre a esses parâmetros para ajustes e correções.

Uma vez padronizada a posição das guias, corrigida a modulação e limitado o acesso aos parâmetros, a receita de modulação desenvolvida (entende-se por “receita” um conjunto de parâmetros de funcionamento de todos os motores de transporte da linha de envase) foi salva no servidor de rede da linha de produção como forma de manter seguro todo o trabalho desenvolvido frente a uma inesperada anomalia com perda de dados que possa vir a ocorrer no futuro.

4.2.2 Concentração de Sabão e Coeficiente de Atrito

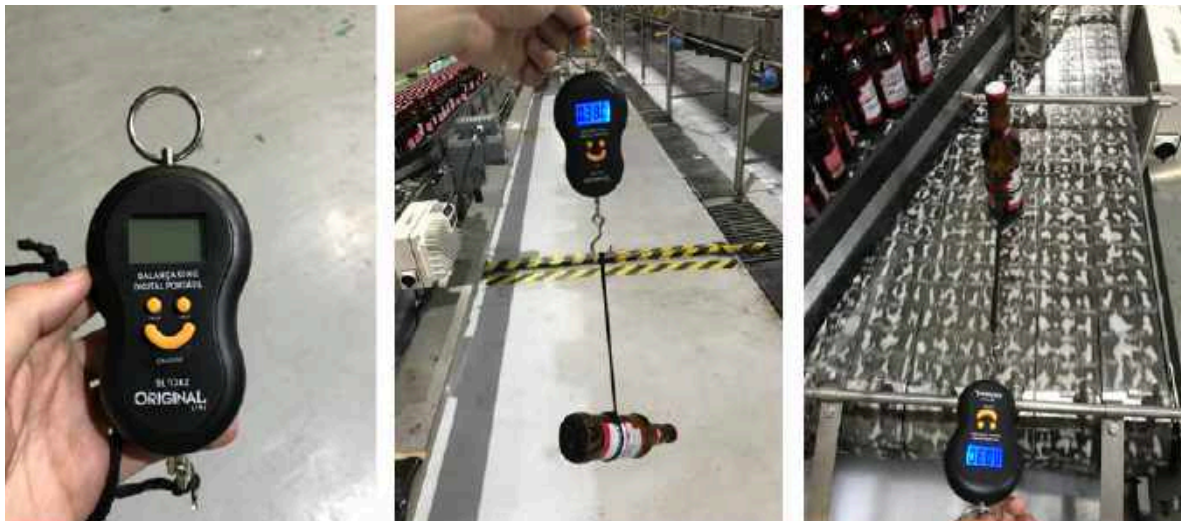
O uso de sabão lubrificante para lubrificação das esteiras tem por função básica reduzir o atrito existente entre garrafa e esteira e com isso evitar tombamentos de garrafas. Assim, quando o coeficiente de atrito entre garrafa e esteira é muito elevado, presencia-se o tombamento de garrafas quando estas se deslocam em relação a esteira.

Nesse sentido, constatou-se que grande parcela das garrafas tombadas presenciadas nos transportes da linha de envase em estudo era fruto da baixa concentração de sabão e do elevado coeficiente de atrito existente entre garrafa e esteira.

Desta forma, como primeira ação, foi feita uma padronização desses parâmetros definindo valores de coeficiente de atrito e concentração de sabão que atendiam as necessidades de todos os trechos de transporte da linha. Para a concentração de sabão lubrificante foi fixado um valor mínimo de 0,20 e para o coeficiente de atrito valores dentro do intervalo de 0,08 a 0,10.

Para a determinação do coeficiente de atrito entre garrafa e esteira faz-se uso de um dinamômetro para medir o peso da garrafa e a força de atrito do sistema, conforme apresentado na figura 29; e para a determinação da concentração de sabão realiza-se uma titulação com ácido clorídrico 0,1N e indicador *Conveyor Lubrificant Indic* (sal sódico do verde de bromocresol).

Figura 29 - Uso do dinamômetro para determinação do coeficiente de atrito



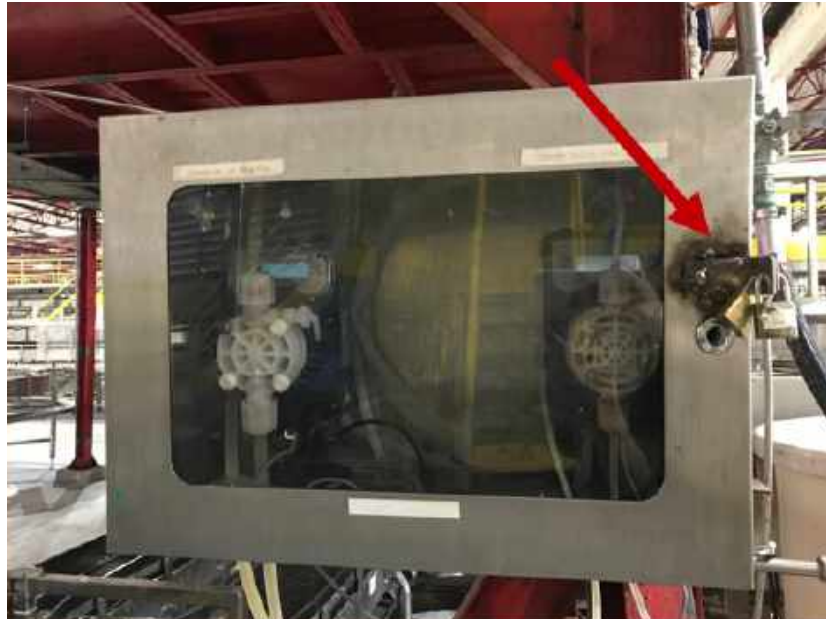
Fonte: Próprio autor

No entanto, frente às alterações praticadas na dosagem das bombas de sabão tanto pelos operadores quanto pelo corpo técnico da empresa terceirizada sem um alinhamento prévio – operadores dosando sabão em excesso e empresa terceirizada em escassez – foi necessária a instalação de cadeados duplos no compartimento das bombas dosadoras, com um cadeado sob responsabilidade da

linha de produção e outro sob responsabilidade da empresa terceirizada, como forma de eliminar os problemas enfrentados com sabão lubrificante.

A figura 30 apresenta o compartimento das bombas dosadoras onde foram instalados cadeados duplos.

Figura 30 - Bombas dosadoras de sabão com cadeados duplos



Fonte: Próprio autor

Uma vez padronizado os valores de concentração de sabão e coeficientes de atrito, sempre que se nota um tombamento de garrafas anormal ao longo dos transportes, a empresa terceirizada é acionada para medir os valores desses parâmetros e uma vez comprovada a necessidade de ajustes, esses são realizados em conjunto com a linha de produção alterando os parâmetros de dosagem das bombas de sabão.

4.2.3 Perfil Lateral

Entende-se por perfil lateral como sendo as peças fixadas nas laterais dos transportes e que fazem a função de delimitar e guiar o fluxo de garrafas ao longo de todo trecho de transporte. No caso em específico da linha de produção em estudo foi constatado diversos problemas nesses componentes, os quais contribuíam

significativamente para o elevado número de garrafas tombadas observado nos transportadores.

O primeiro problema observado foi a ausência de salva-rótulos nesses perfis laterais. Uma vez que esses perfis não possuíam salva-rótulos, o corpo das garrafas ficava em contato direto com a parede desses elementos e o que se observava na ocasião era a ocorrência de um tombamento excessivo de garrafas nas laterais dos transportes devido ao simples contato existente entre garrafa/perfil.

A figura 31, ilustra o problema enfrentado de garrafas tombando em contato com os perfis laterais.

Figura 31 - Problema de garrafas tombando nos perfis laterais



Fonte: Próprio autor

Com a existência de salva-rótulos, o contato existente entre garrafa e perfil se dá apenas na parte de baixo, diminuindo assim a área de contato entre esses elementos e eliminando o problema constatado.

Diante do exposto, constatou-se que se tratava de um erro de concepção de projeto. Desta forma, foi solicitado a troca de todos os perfis laterais sem salva-rótulos por perfis com salva-rótulos. Tal trabalho foi realizado pela empresa terceirizada responsável pela concepção e montagem do projeto referente aos transportadores.

As figuras 32 e 33 ilustram a distinção entre um perfil sem salva-rótulos e um perfil com salva-rótulos.

Figura 32 - Perfil lateral sem salva-rótulos



Fonte: Próprio autor

Figura 33 - Perfil lateral com salva-rótulos



Fonte: Próprio autor

No entanto, após a substituição dos perfis laterais, apesar de em menor número e em pontos específicos, ainda assim era possível observar garrafas tombando ao entrar em contato com as laterais dos transportes.

Em uma inspeção mais detalhada, encontrou-se anomalias nos perfis laterais que contribuíam diretamente para o tombando de garrafas observado. Tais anomalias se apresentavam como falhas na emenda dos perfis laterais, conforme apresentado na figura 34, e existência de inclinação irregular, conforme observado na figura 35.

Figura 34 - Perfil lateral com falha na emenda



Fonte: Próprio autor

Figura 35 - Perfil lateral com inclinação irregular



Fonte: Próprio autor

Apesar de se tratarem de anomalias pontuais, foi necessária a realização das devidas correções pela empresa terceirizada responsável pelo projeto para eliminar de vez a ocorrência de garrafas tombando devido ao simples contato com os perfis laterais.

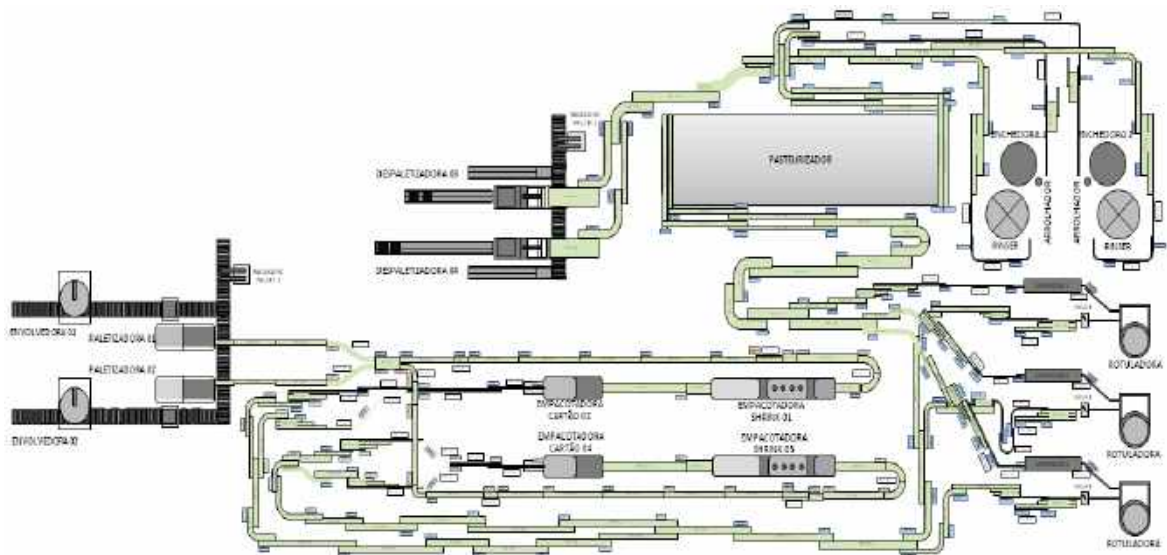
Assim, após as intervenções necessárias, não se observou mais garrafas tombando nas laterais dos transportes, deixando os perfis laterais de serem um impacto.

4.2.4 Componentes Mecânicos e Execução da Manutenção Preventiva

Ainda na fase de análise do problema foi constatado uma grande dificuldade em se discutir problemas referentes aos transportadores por não se saber exatamente a qual trecho específico tal problema se referia, ficando muitas vezes na imaginação e na suposição. Diante disso, uma ação vital foi o mapeamento da linha de produção em estudo detalhando cada um dos trechos de transporte existentes.

A figura 36 apresenta o mapa detalhado dos transportes da linha de envase em estudo desenvolvido para facilitar discussões voltadas aos transportadores, quando estas eram realizadas em salas de reunião e sem a visão do campo.

Figura 36 - Mapeamento dos transportes da linha de envase de cerveja



Fonte: Próprio autor

Assim, durante as reuniões em que problemas referentes a transportadores eram discutidos, o mapa criado passou a ser usado como base para identificar a real localização do problema e o impacto que ele poderia causar na linha de produção como um todo. Sob esse aspecto destaca-se a importância dos trechos

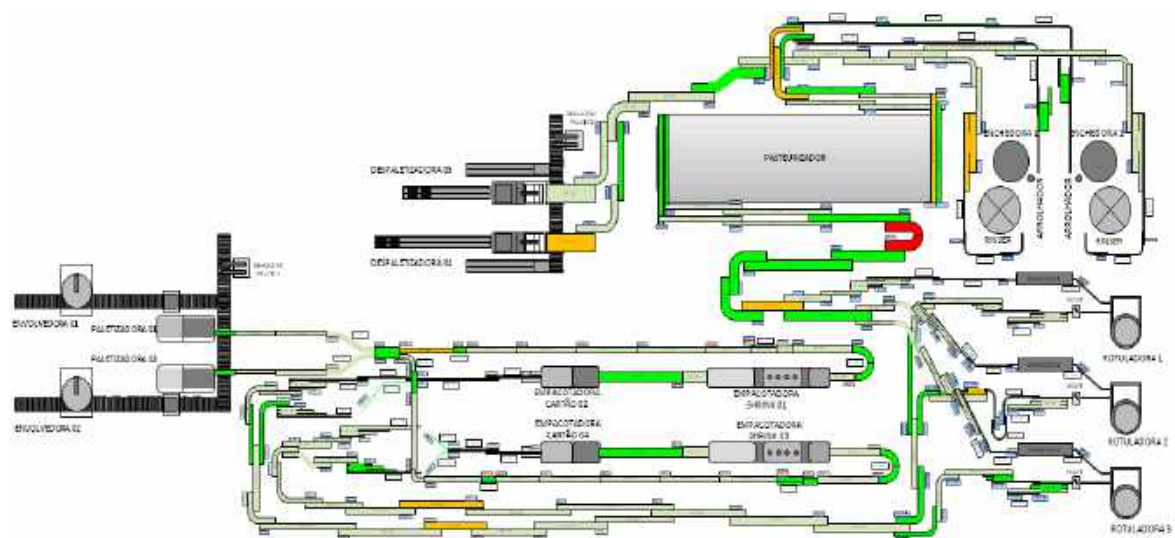
únicos de transporte, em que uma quebra mecânica tem o poder de paralisar toda a linha produtiva.

Outro problema presenciado foi a dificuldade na priorização das ordens de manutenção referentes aos problemas dos transportadores. Em alguns casos, ordens de manutenção existentes no sistema se referiam a passivos já solucionados em campo e em outros, apesar do problema constatado, inexistia ordem de manutenção para tratar o problema.

Pensando nisso foi feito um levantamento em campo de todos os passivos referentes a transporte existentes e criado uma planilha com descrição da anomalia encontrada, ordem de manutenção correspondente e a qual trecho tal anomalia se referia. Em conjunto, foi criado um sistema de gestão voltado para transportes para se ter uma visão geral de todas as manutenções já realizadas, trechos de transporte com problemas identificados e trechos críticos com quebra eminente.

Tal sistema de gestão foi criado utilizando como base o mapa da linha de produção da figura 36 e fazendo uso das cores verde, laranja e vermelho para destacar respectivamente os trechos 100%, os trechos com anomalias e os trechos críticos. A figura 37 apresenta o sistema de gestão baseado em cores criado para se ter uma visão dos passivos de transporte existentes assim como os já solucionados.

Figura 37 - Gerenciamento dos passivos de transportes baseado em cores



Fonte: Próprio autor

Desta forma, apesar dos problemas referentes aos transportes serem muitos e dos mais variados tipos, qualquer pessoa que tivesse acesso a esse sistema de gerenciamento conseguiria facilmente identificar os passivos existentes em campo, assim como quais trechos deveriam ser tratados como prioridade.

Ainda sob o ponto de vista dos problemas relacionados a componentes mecânicos e execução da manutenção preventiva, chegou-se a conclusão que as quebras mecânicas presenciadas em produção eram devido ao fato das inspeções preventivas serem realizadas apenas superficialmente, uma vez que inexistia uma equipe fixa atuante nos transportes e grande parte das manutenções se concentravam em ordens corretivas.

Buscando reverter o cenário existente, uma equipe de transporte foi criada com o intuito de fidelizar as pessoas como donos e responsáveis pelos transportes da linha de produção. Tal equipe foi formada por operadores e técnicos que tinham conhecimento e predisposição para atuar em problemas relacionados aos transportes.

Em conjunto, um treinamento na ferramenta Toolkit de Transporte foi ministrado para toda a equipe de técnicos e operadores para transmitir informações sobre o funcionamento dos transportes, os pontos mais críticos, como resolver os problemas mais recorrentes e o que se esperava de uma manutenção/inspeção bem executada.

Assim, com a equipe de transporte devidamente criada e treinada, ela passou a ser direcionada em oportunidades de linha parada para os trechos de transporte com problemas mapeados, eliminando todos os passivos encontrados e deixando os trechos 100%. Inicialmente tais direcionamentos foram focados em manutenções corretivas críticas e então com a diminuição dos problemas, mudou-se o foco para as inspeções preventivas como forma de sustentar os resultados adquiridos.

A figura 38 ilustra um problema crítico encontrado e sanado pela equipe de transporte durante uma inspeção preventiva e que provavelmente viria a quebrar em produção, em que foi constatado rodas de tração e perfil gastos, mancal danificado e eixo degolado. Já figura 39 ilustra como contraste um trecho após a execução da manutenção pela equipe de transporte.

Figura 38 - Exemplo de um problema mecânico crítico de transporte



Fonte: Próprio autor

Figura 39 - Trecho de transporte após execução da manutenção



Fonte: Próprio autor

4.2.5 Lubrificação

Parte fundamental para garantir o bom funcionamento dos transportadores, a lubrificação é feita para diminuir o atrito entre duas superfícies e para isso é preciso colocar uma substância líquida entre os dois sólidos, ou seja, o lubrificante.

Apesar de ser uma tarefa aparentemente simples, foi constatado que os problemas relacionados com lubrificação eram responsáveis por grande parte das quebras mecânicas e prematuras dos transportes presenciadas em produção, e em sua totalidade devido a falhas no processo de lubrificação em mancais.

A figura 40 ilustra um mancal interno danificado por falta de lubrificação.

Figura 40 - Exemplo de mancal danificado por falta de lubrificação



Fonte: Próprio autor

Os mancais são parte importante de um transportador e de maneira geral necessitam de lubrificação periódica para operarem corretamente. Em campo, constatou-se problemas de lubrificação relacionados a defeitos de fábrica em mancais novos, locais de difícil acesso e procedimentos de lubrificação desatualizados.

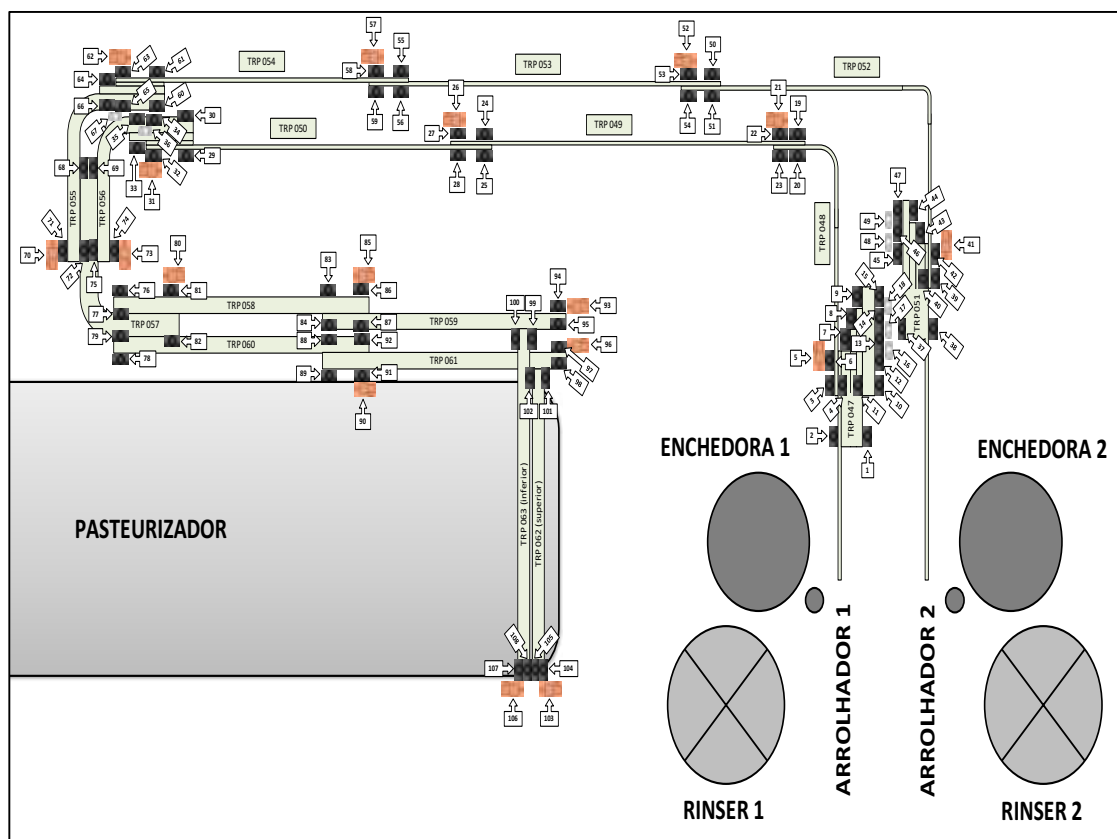
Frente ao problema de fábrica encontrado em mancais novos, adotou-se a boa prática de testar sua lubrificação em bancada antes da instalação em campo, e em paralelo o fornecedor foi contatado.

Para o problema dos pontos de lubrificação localizados em locais de difícil acesso, foram realizadas adaptações utilizando mangueiras para trazer esses pontos para locais de melhor acesso e facilitar assim o processo de lubrificação.

Já com relação aos procedimentos de lubrificação, foi constatado que muitos dos pontos que necessitavam lubrificação em campo não estavam contemplados nesses procedimentos e que tal ocorrência era comum para quase todos os mancais internos, fonte maior dos problemas. Assim, foi realizado um levantamento em campo de 100% dos pontos relacionados a transportes que necessitavam lubrificação e procedeu-se com a atualização de todos os procedimentos.

A figura 41 ilustra todos os pontos que necessitam de lubrificação presentes no trecho de transporte Enchedora - Pasteurizador.

Figura 41 - Pontos que necessitam lubrificação no trecho de transporte Enchedora - Pasteurizador



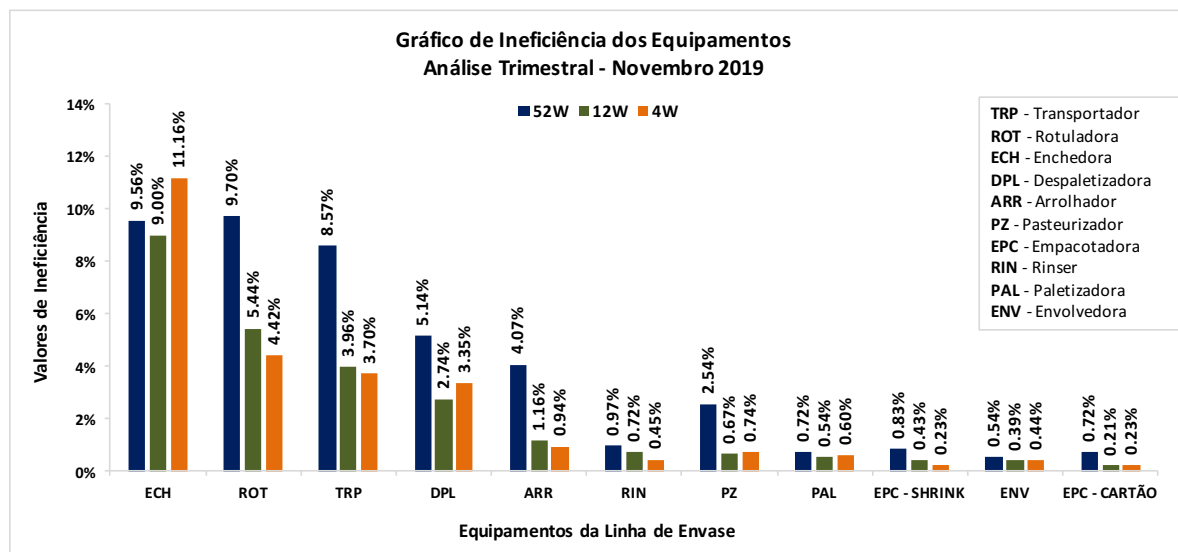
4.3 FASE 3: VERIFICAÇÃO

Após a execução de todo o plano de ação elaborado, foi então verificada a efetividade das ações traçadas frente ao objetivo estipulado inicialmente: aumentar a confiabilidade e a eficiência e diminuir o índice de garrafas tombadas dos transportadores da linha em estudo. Para isso, como forma de comparação, foi elaborada uma nova análise trimestral contendo os dados de todos os equipamentos da linha.

Apesar de as ações traçadas terem sido finalizadas em setembro de 2019, um período posterior de aproximadamente dois meses foi utilizado como monitoramento tanto para atestar a efetividade das ações executadas como para a realização de pequenos ajustes. Assim, o período de 1 ano (52W) da análise trimestral englobou dados de dezembro de 2018 a novembro de 2019, o período de 3 meses (12W) envolveu dados de setembro de 2019 a novembro de 2019 e o período de 1 mês (4W) contemplou dados do mês de novembro de 2019.

A figura 42 apresenta a análise trimestral que foi estruturada na busca de verificar se o objetivo inicialmente traçado foi alcançado, assim como validar a eficácia das ações mapeadas e executadas.

Figura 42 - Gráfico de Ineficiência dos equipamentos da linha de envase - Nov. 2019

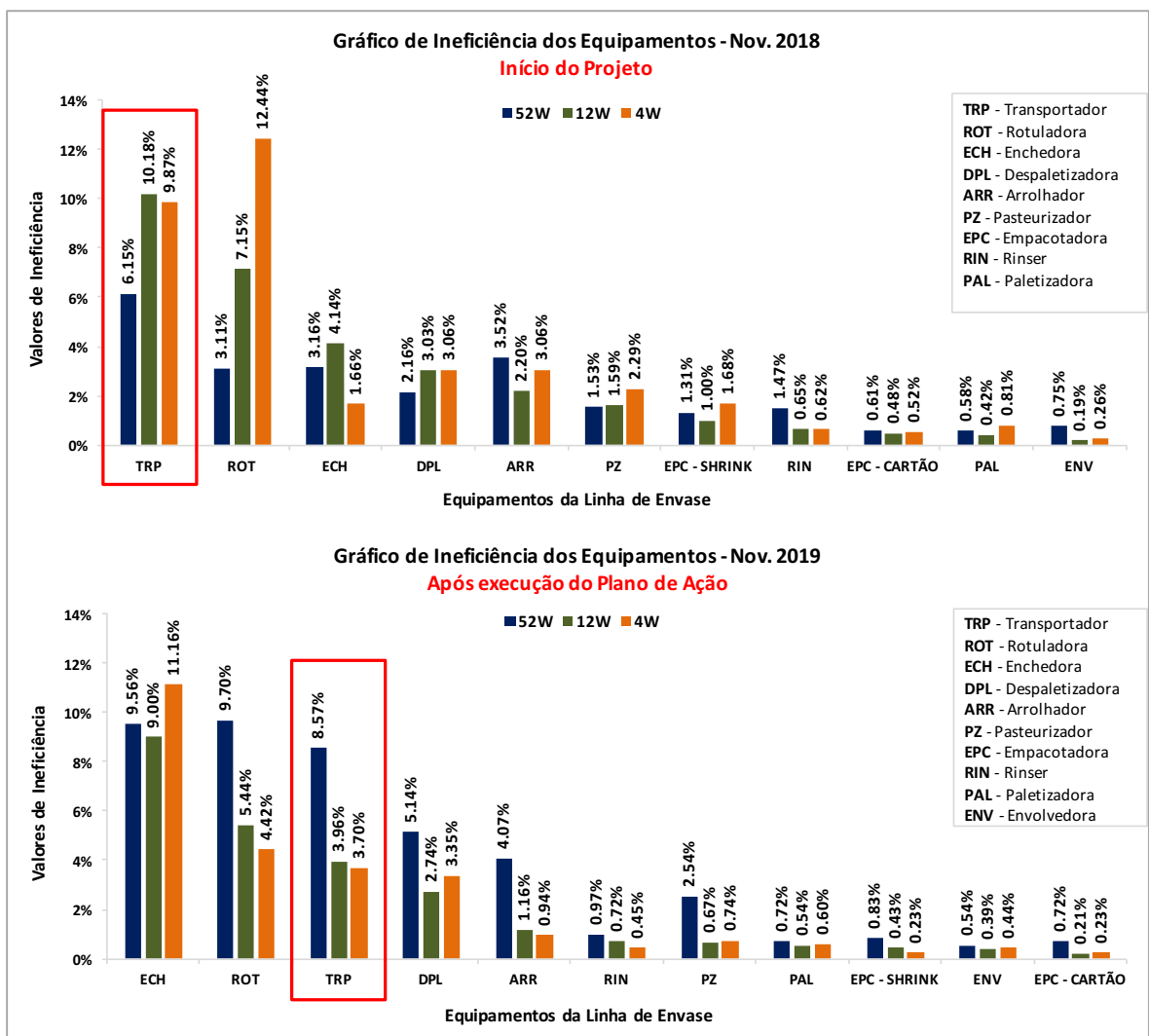


Fonte: Próprio autor

Analisando a figura 42, nota-se que os transportadores deixaram de ser os responsáveis pela maior parcela da ineficiência da linha de envase, aparecendo com uma ineficiência de 3,96% no trimestre (12W) e com uma tendência de queda no último mês (4W), atingindo um valor de ineficiência de 3,70%.

Com o intuito de comparar os valores de ineficiência dos transportadores no início do projeto e após a execução do plano de ação, a figura 43 foi elaborada.

Figura 43 - Comparação de Ineficiência dos Transportadores - Início do Projeto e após execução do Plano de Ação



Fonte: Próprio autor

Baseado na figura 43 é possível constatar uma redução significativa da ineficiência dos transportadores. Responsáveis pela maior parte da ineficiência da linha de produção com um impacto de 10,18% no trimestre de Novembro de 2018

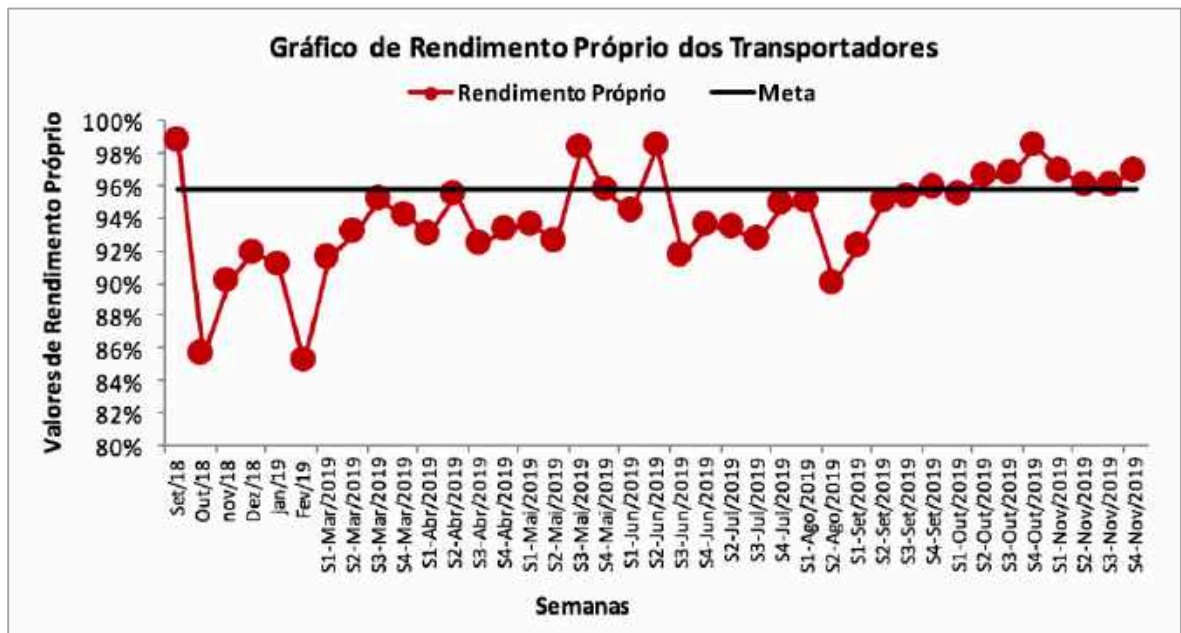
(início do projeto), os transportes aparecem apenas como terceiro maior impacto com uma ineficiência de 3,96% no trimestre de Novembro de 2019 (após execução do plano de ação).

Trazendo para o contexto de Rendimento Próprio, percebe-se que esses elementos rendiam apenas 89,82% do esperado no início do estudo. Já após a execução de todo o plano de ação, eles aparecem com um Rendimento Próprio de 96,04%, ou seja, um ganho de rendimento de 6,22%, e superando em 0,30% a meta estipulada de 95,74%.

Tomando por base a nominal da linha de produção que é de 100 mil garrafas por hora, esse ganho de 6,22% de rendimento dos transportadores representa para a linha de envase uma produção de aproximadamente 6200 garrafas de cerveja a mais por hora. Na produção diária, representa um aumento de produção de mais de 140 mil garrafas.

Durante o curso de execução do Plano de Ação foi feito também um acompanhamento do rendimento próprio dos transportes semana a semana e que se encontra ilustrado na figura 44.

Figura 44 - Acompanhamento do Rendimento Próprio dos transportadores



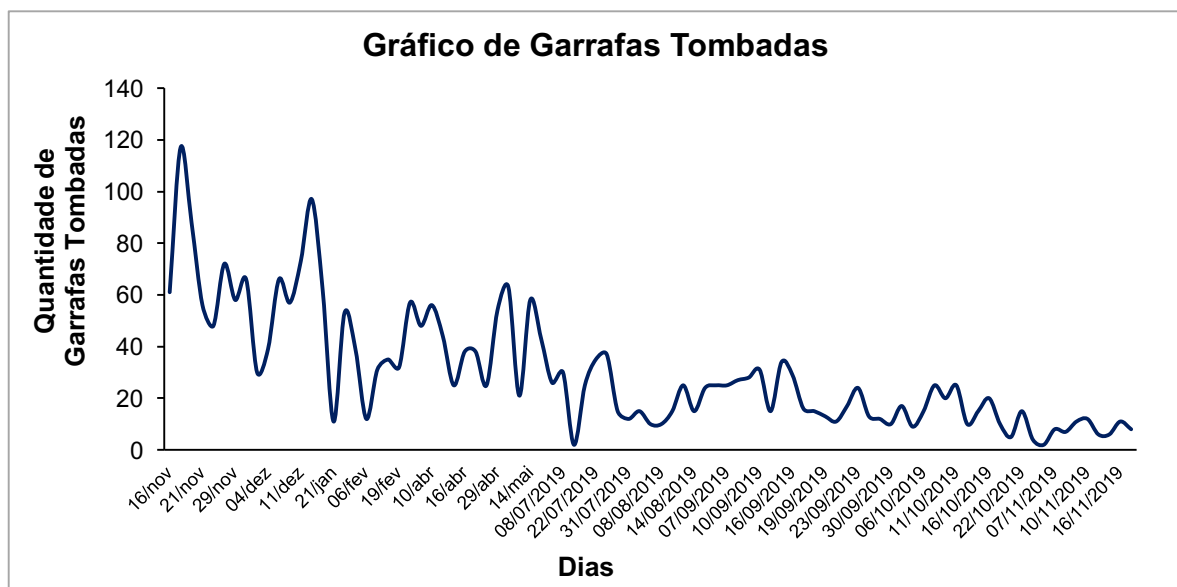
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 44 nota-se que apesar de uma certa alternância de valores de rendimento próprio hora acima e hora abaixo da meta, um resultado

mais consistente passa a ser observado apenas na segunda semana de setembro que foi justamente no período que conseguiu-se sanar todos os passivos mecânicos e de modulação existentes e assim garantir uma maior confiabilidade aos transportes.

Com relação ao objetivo secundário de diminuir o número de garrafas tombadas, um acompanhamento diário também foi realizado no período e o resultado encontra-se na figura 45.

Figura 45 - Gráfico de acompanhamento de garrafas tombadas



Fonte: Próprio autor

Analisando o gráfico da figura 45, nota-se que no início do trabalho os transportes da linha de produção operavam com uma elevada quantidade de garrafas tombadas, atingindo picos de 100 e 120 garrafas em intervalos de medição de 5 minutos. Já no fim, após a execução da totalidade das ações, os transportes passaram a operar com valores próximos de 12.

Apesar de um pouco longe do sonho de “zero garrafas tombadas”, o resultado conquistado atesta a eficácia das ações traçadas e executadas, assim como o atingimento do objetivo inicialmente estipulado.

Com a expressiva redução no número de garrafas tombadas, além da redução das pequenas paradas nos equipamentos devido ao fato das garrafas agora chegarem na posição vertical na entrada dos equipamentos, o que reflete diretamente na eficiência da linha de produção, conquistou-se também uma maior

segurança para a linha de envase, uma vez que também diminuíram as explosões com a projeção de cacos de vidro ocasionadas pelo choque entre garrafas cheias e tombadas existentes nos transportes.

Levando em consideração toda a energia gasta durante a fabricação das garrafas de vidro, a expressiva redução no número de garrafas tombadas e a conseqüente redução de explosões com projeção de cacos de vidro representa também um ganho ecológico, uma vez que menos garrafas são desperdiçadas e perdidas ao longo dos transportadores da linha de envase.

4.4 FASE 4: VALIDAÇÃO

Comprovada a efetividade do trabalho, foi realizado uma reunião com todos os turnos de produção para desdobrar os avanços e aprendizados adquiridos com o estudo, reforçar a importância dos itens padronizados, assim como firmar um compromisso perante todos sobre a importância de inspeções preventivas bem executadas e a não execução de ajustes técnicos de baixo custo, como formas de sustentar os resultados conquistados.

Nessa fase de validação, sob a aprovação da equipe de supervisão, os padrões e procedimentos de manutenção revisados também foram disponibilizados no sistema e compartilhados com as demais áreas.

Diante dos grandes avanços conquistados com o projeto, os aprendizados adquiridos também foram desdobrados para as demais linhas de envase da unidade fabril onde resultados positivos já estão sendo observados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do método PDCA em associação com as ferramentas da qualidade possibilitou um planejamento consistente favorecendo a identificação e o gerenciamento das causas que impactavam negativamente na eficiência dos transportadores.

Com ações direcionadas para tratar os problemas de modulação, concentração de sabão, coeficiente de atrito, perfil lateral, componentes mecânicos, execução da manutenção preventiva e lubrificação conquistou-se um ganho de eficiência de 6,22%, que representa um aumento de produção de mais de 140 mil garrafas por dia, e uma redução expressiva no número de garrafas tombadas, com ganho ecológico e um conseqüente ambiente de trabalho mais seguro.

Com o presente trabalho conseguiu-se também mostrar a importância dos transportadores dentro da linha produtiva despertando o envolvimento e interesse dos operadores no monitoramento do funcionamento desses elementos. Além disso, por meio da pesquisa-ação foi possível aprofundar o conhecimento a respeito dos diferentes tipos de transportadores assim como seus principais modos de falha.

Frente ao expressivo resultado conquistado, o trabalho desenvolvido foi cascadeado para as demais linhas de envase do setor produtivo, nas quais resultados positivos já estão sendo observados.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. **Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2012.
- AMAN ET AL. Improving efficiency of a production line by Using Overall Equipment Effectiveness: A case study. In: International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Rabat, Morocco. **Anais...** Rabat, Morocco: 2017. Disponível em: <<http://ieomsociety.org/ieom2017/papers/331.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- ANDRADE, F. F. de. **O método de melhorias PDCA**. 2003. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- ARRUDA, A. C. **A relação entre o engajamento dos colaboradores e a manutenção autônoma**. Lages, 2012.
- BADIRU, A. B.; AYENI, B. J. **Practitioner's Guide to Quality and Process Improvement**. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1993.
- BAUER, J. E.; DUFFY, G. L.; WESTCOTT, R. **The Quality Improvement Handbook**. 2. ed. United States of America: ASQ Quality Press, 2006.
- BERNOLAK, I. Effective measurement and successful elements of company productivity: The basis of competitiveness and world prosperity. **International Journal of Production Economics**, v. 52, n. 1–2, p. 203–213, out. 1997.
- BLÜML, S. Filling. In: ESSLINGER, M. H. (Ed.). **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. p. 275–320.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA **Decreto Nº 6871, DE 04 DE JUNHO DE 2009**. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- BÜCKLE, J. Labeling. In: ESSLINGER, M. H. (Ed.). **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009a. p. 321–337.
- BÜCKLE, J. Packaging. In: ESSLINGER, M. H. (Ed.). **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009b. p. 577–594.
- CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 9. ed. Nova Lima: Falconi, 2014.
- CARPINETTI, L. C. Ri. **Gestão da Qualidade - Conceitos e Técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220–240, fev. 2002. Disponível em: <<https://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/01443570210417515>>. Acesso em: 10 maio. 2019.
- DANIEL, E. A.; MURBACK, F. G. R. Levantamento Bibliográfico do uso das Ferramentas da Qualidade. **Gestão & Conhecimento**, n. 8, p. 43, 2014. Disponível em: <http://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/artigos_v2014.html>. Acesso em: 22 out. 2019.
- ESTEVES, R. **Análise de causas da quebra de garrafas de vidro em linhas de enchimento de cerveja**. 2012. Universidade do Minho, 2012.

FREITAS, C. S. de. **Gestão da Qualidade**. 1. ed. Manaus: Centro Universitário do Norte, 2009.

GAZZI JÚNIOR, U. **Produtividade**. 2008. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

KRONES. **Boletim Krones News**. Edição 83, Matéria 7, 2009. Disponível em: <<http://www.krones.com.br/Boletim/Edicao83/materia7.htm>>. Acesso em: 5 maio. 2019.

KRONES. **Rinser for sparkling clean bottle cleaning**. 2019. Disponível em: <https://www.krones.com/media/downloads/moduljet_en.pdf>. Acesso em: 4 maio. 2019.

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. 4. ed. São Paulo: Editora Gente, 1993.

LAMB, F. **Automação Industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2015.

LINKO, M. et al. Recent advances in the malting and brewing industry. **Journal of Biotechnology**, v. 65, p. 85–98, 1998.

LORIGGIO, A. **De onde vêm os problemas: Método para um diagnóstico eficaz**. 1. ed. São Paulo: Negócio Editora, 2002.

LOWE, C. M.; ELKIN, W. I. BEER PACKAGING IN GLASS AND RECENT DEVELOPMENTS. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 92, p. 517–528, 1986.

LUCINDA, M. A. **Qualidade: fundamentos e prática para cursos de graduação**. Rio de Janeiro: BRASPORT Livros e Multimídia Ltda., 2010.

MARIANI, C. A. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, v. 2, n. 2, p. 110–126, 2005. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=97317090009>>. Acesso em: 01 maio. 2019.

MARQUES, L. D. C. **Desenvolvimento de uma ferramenta para análise da Eficiência Global de um Equipamento numa instalação de fabrico de cerveja**. 2017. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2017.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. de. A produção da cerveja no brasil. **CITINO - Revista Eletrônica Hestia**, v. 1, n. 1, p. 34–42, 2011. Disponível em: <<https://www.hestia.org.br/wp-content/uploads/2012/07/CITINOAno1V01N1Port04.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. 1. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.

MELO, C. P.; CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura - versão 2.0**. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

MORADIZADEH, H. **Overall Equipment Effectiveness and overall Line Efficiency Measurement using Intelligent Systems Techniques**. 2014. University of Regina, 2014.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (Preventative Maintenance Series)**. Cambridge: Productivity Press, 1988.

OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da Qualidade Total**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1994.

PALADINI, E. P. **Gestão Da Qualidade: Teoria e Prática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

ROSA, R. F. **Redução da quebra de garrafas em uma linha de envase de uma indústria de bebidas utilizando a ferramenta PDCA**. 2013. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.

SANTOS, M. C. dos; GONÇALVES, A. T. P. Aplicação da metodologia de análise e solução de problemas – MASP na logística de uma grande rede varejista. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 11, n. 4, p. 21–44, 2016.

SANTOS, M. S. dos; RIBEIRO, F. de M. **Cerveja e Refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005.

SEBRAE. **Manual de Ferramentas da Qualidade**. 2005. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/9881606-Manual-de-ferramentas-da-qualidade.html>>. Acesso em: 22 out. 2019.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. 2. ed. Curitiba: Ibpex, 2012.

SILVA, A. C. R. da. **Utilização da ferramenta PDCA e o seu potencial de aplicação no setor aeroespacial**. 2009. Universidade de Taubaté, Taubaté, 2009.

SIMOMUKAY, E. Utilização do Indicador de Eficácia Global de Equipamentos (OEE) na Avaliação do Ciclo de Injeção de Termoplásticos - Um Estudo de Caso. **Revista Eletrônica Multidisciplinar - FACEAR**, v. 4, p. 1–10, 2015. Disponível em: <[http://revista.facear.edu.br/artigo/\\$/-utilizacao-do-indicador-de-eficacia-global-de-equipamentos-oe-na-avaliacao-do-ciclo-de-injecao-de-termoplasticos-um-estudo-de-caso](http://revista.facear.edu.br/artigo/$/-utilizacao-do-indicador-de-eficacia-global-de-equipamentos-oe-na-avaliacao-do-ciclo-de-injecao-de-termoplasticos-um-estudo-de-caso)>. Acesso em: 30 abr. 2019.

SINDICERV. **O setor em números**. 2016. Disponível em: <<https://sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

SINDICERV. **História da Cerveja**. 2019. Disponível em: <<https://sindicerv.com.br/historia-da-cerveja/>>. Acesso em: 24 maio. 2019.

SOBEK, D. K.; JIMMERSON, C. A3 Reports: Tool for Process Improvement. In: Industrial Engineering Research Conference, Houston, Texas. **Anais...** Houston, Texas.: 2004.

SOBRAL, J. A. da S. **Seminário: Manutenção e Gestão Lean**. 9 nov. 2011. Disponível em: <http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20111109_jsobral_16372682884ec3ce5b7e760.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.

SUMANTH, D. J. **Productivity Engineering and Management**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.

TANGEN, S. Demystifying productivity and performance. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 54, n. 1, p. 34–46, jan. 2005.

TERNER, G. L. K. **Avaliação da aplicação dos métodos de análise e solução de problemas em uma empresa metal-mecânica**. 2008. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

VENTURINI, W. G. F.; CEREDA, M. P. Cerveja. In: AQUARONE, E. et al. (Ed.). **Biotechnologia Industrial: Biotechnologia na produção de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2001. p. 91–144.

VERGUEIRO, W. **No Title**. São Paulo: Arte & Ciência, 2002.

WERKEMA, C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. 1. ed. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

ANEXO A

TERMO DE PERMISSÃO DE USO DE INFORMAÇÕES

Através deste termo, nós da EMPRESA AMBEV, declaramos que estamos de acordo com a utilização das informações desta empresa no Trabalho de Conclusão de Curso intitulado ***Aumento da eficiência dos transportadores de uma linha de envase de cerveja utilizando o método PDCA*** desenvolvido pelo aluno CAIQUE CESAR LIGABO, a ser apresentado à Escola de Engenharia de Lorena no primeiro semestre de 2020.

Jacareí, 26 de Junho de 2020



DOUGLAS MORAES DE ANDRADE

ENGENHEIRO INDUSTRIAL