

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

REGINA DE NAZARÉ CALDEIRAS

**OTIMIZAÇÃO DA PERFORMANCE DE ROTULADORAS KRONES EM CUSTOS E
PRODUTIVIDADE**

São Luís - MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

de Nazaré Caldeiras, Regina.

OTIMIZAÇÃO DA PERFORMANCE DE ROTULADORAS KRONES EM
CUSTOS E PRODUTIVIDADE / Regina de Nazaré Caldeiras. -
2024.

53 p.

Orientador(a): Dalmo Inácio Galdez Costa.

Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do
Maranhão, Ufma, 2024.

1. Consumo de Cola. 2. Mtrr. 3. Mtbf. 4. Manutenção
Mecânica. 5. . I. Galdez Costa, Dalmo Inácio. II.
Título.

REGINA DE NAZARÉ CALDEIRAS

**OTIMIZAÇÃO DA PERFORMANCE DE ROTULADORAS KRONES EM CUSTOS E
PRODUTIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dalmo Inacio Galdêz Costa

São Luís - MA

2024

REGINA DE NAZARÉ CALDEIRAS

**OTIMIZAÇÃO DA PERFORMANCE DE ROTULADORAS KRONES EM CUSTOS E
PRODUTIVIDADE**

Trabalho aprovado. São Luís – MA ____ de _____ 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Dalmo Inacio Galdez Costa Orientador – UFMA/Orientador

Prof. Dr. 1º Membro da Banca – UFMA/Engenharia Mecânica

Prof. Dr. 2º Membro da Banca – UFMA/Engenharia Mecânica

*Dedico este trabalho a minha mãe por todo
apoio e incentivo*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a algumas pessoas que desempenharam papéis fundamentais nesta jornada.

Agradeço ao Professor Dalmo, cuja calma e resiliência foram fontes constantes de inspiração e sustentação. Sua abordagem tranquila e a maneira como enfrentou desafios que surgiram nesse percurso sempre me apoiando com uma serenidade admirável deixaram uma marca indelével em meu percurso acadêmico.

Ao Ubirajara, meu sincero agradecimento pelo apoio incondicional ao longo de toda essa trajetória. Sua orientação e incentivo foram essenciais para a superação dos obstáculos e o avanço contínuo.

Um agradecimento especial à minha amada mãe, Antonia Caldeiras, cujo amor e dedicação incansáveis foram o pilar que sustentou cada passo dessa jornada. Sua capacidade de se esforçar e apoiar-me sem reservas foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Não posso deixar de mencionar minha tia Sebastiana, que, embora tenha falecido antes de eu me formar, sempre foi uma fonte de amor e inspiração. Sua memória e os valores que me transmitiu continuam a me guiar e a iluminar meu caminho.

A todo o corpo docente da UFMA, expresso minha gratidão pelo conhecimento compartilhado e pela formação sólida proporcionada. Cada um de vocês contribuiu significativamente para meu desenvolvimento e aprendizado.

A todos vocês, meu mais profundo agradecimento. Sem o apoio e o compromisso de cada um, esta conquista não teria sido possível.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo diminuir o consumo de cola das rotuladoras de uma fábrica de bebidas, cujos custos de perdas dos insumos de produção estavam maiores que os gastos relacionados a sua manutenção, desenvolvendo método de acompanhamento do consumo de cola pelo time de operadores do equipamento e paralelamente acompanhando os indicadores de manutenção e rendimento próprio dos equipamentos para avaliar o ganho quantitativo das atividades. Como metodologia serão utilizados os métodos quantitativos para avaliar a dimensão do problema tal como os ganhos obtidos no indicador de consumo de cola com as atividades de manutenção realizadas com foco maior nos subconjuntos e problemas mecânicos do equipamento que se mostraram mais impactantes nos problemas relacionados ao consumo de cola do equipamento.

Palavras-Chave: Consumo de cola, MTTR, MTBF, Rendimento Próprio, Manutenção Mecânica.

ABSTRACT

This work aims to reduce the consumption of glue in labeling machines at a beverage factory, whose loss costs of production inputs were greater than the expenses related to their maintenance, developing a method for monitoring glue consumption by the team of equipment operators. and in parallel monitoring the maintenance indicators and equipment performance to evaluate the quantitative gain of the activities. As a methodology, quantitative methods will be used to assess the dimension of the problem, such as the gains obtained in the glue consumption indicator with maintenance activities carried out with a greater focus on subassemblies and mechanical problems of the equipment that proved to have the most impact on problems related to glue consumption from the equipment.

Keywords: Glue Consumption, MTTR, MTBF, Efficient Equipment and Performance, Mechanical Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fluxograma esquemático do processo de envasamento de cerveja.	12
Figura 1.2 - Exemplo de garrafas em perfeito estado com e sem rótulos.	12
Figura 1.3 - Definição dos tipos de rótulos usados em garrafas retornáveis.....	13
Figura 1.4 - Exemplificação visual dos indicadores de Manutenção.	14
Figura 1.5 - Vista superior da rotuladora com rosca sem fim.....	15
Figura 4.1 - Métodos de Manutenção, baseado na sua finalidade.....	19
Figura 4.2 - Posicionamento do balde de cola no equipamento de rotular.	21
Figura 4.3 - Sequência de entrada e saída das garrafas retornáveis no carrossel de garrafas da rotuladora.	22
Figura 4.4 - Encontro entre a garrafa e o sistema de rótulos.	22
Figura 4.5 - Vista lateral dos subconjuntos da rotuladora Krones.....	23
Figura 4.6 - Vista superior dos subconjuntos da rotuladora Krones.	23
Figura 5.1 - Pesagem dos baldes de cola antes da utilização para medição da variação da massa real com o peso padrão.....	27
Figura 5.2 - Foto medição da altura do balde de cola cheio com a régua.	27
Figura 5.3 - Réguas desenvolvidas para medição do nível de cola nos baldes.	28
Figura 5.4 - Mapeamento da execução das atividades de medição.	29
Figura 5.5 - Distância entre o palete de cola e o rolo de cola.....	31
Figura 5.6 - Aplicação de cola no rolo de cola.....	31
Figura 5.7 - Coleta de garrafas envasadas durante o processo.	32
Figura 6.1 - Encaixes dos eixos.	35
Figura 6.2 - Palete de rótulos e rolo de cola.	35
Figura 6.3 - Decalque a tinta para avaliar desgaste superficial.	36
Figura 6.4 - Desgaste da superfície emborrachada do palete de rótulos.	36
Figura 6.5 - Exemplo de aplicação de cola eficiente com a presença de falhas e aplicação ineficiente com ausência de cola.	37
Figura 6.6 - Raspador de cola.	38
Figura 6.7 - Exemplo de material com desgaste detectável em inspeção visual.	39
Figura 6.8 - Desgaste do pinhão devido a falta de lubrificação.....	40
Figura 6.9 - Gráfico do consumo de cola em kg/hl das linhas 502 e 503 ao longo dos meses.	41
Figura 6.10 - Rendimento próprio das rotuladoras.	42
Figura 6.11 - MTBF - Linha 502.	43
Figura 6.12 - MTBF - Linha 503.	44
Figura 6.13 - MTTR - Linha 502.	45
Figura 6.14 - MTTR - Linha 503.	46

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 6.1 - Subconjuntos Críticos e suas periodicidades de troca e limpeza	38
Quadro 5.7 - Coleta de garrafas envasadas durante o processo.....	38

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	11
2 - JUSTIFICATIVA	16
3 - OBJETIVOS	18
3.1 - OBJETIVO GERAL	18
3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1 - CONCEITO DE MANUTENÇÃO.....	19
4.2 - TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	20
4.3 - ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO DE ENVASE DE CERVEJA	20
4.4 - FALHAS MECÂNICAS EM SISTEMAS ROTATIVOS.....	24
5 - METODOLOGIA	26
5.1 - LEVANTAMENTO DOS PROBLEMAS.....	26
6 - RESULTADOS	34
6.1 - PARÂMETROS.....	34
6.2 - SUBCONJUNTOS CRÍTICOS	38
6.3 - MELHORIA DO CONSUMO DO INSUMO DE COLA.....	40
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48

1 - INTRODUÇÃO

A principal característica da revolução industrial, a substituição da manufatura pela maquinofatura trouxe consigo muitos desafios para os já então consolidados sistemas de produção, não sendo exagero dizer que a manutenção adequada dos equipamentos produtivos seria um dos, senão o maior desafio para uma indústria moderna (ANHESINE, 1999).

O tempo de parada de uma máquina na linha de produção, devido a diversos fatores, é uma das perdas mais comumente encontradas dentro de uma fábrica. Essa perda se converte em prejuízos cujos custos são agregados ao valor do produto final, tornando-o menos competitivo (MELO; SIQUEIRA; PALMA, 2017).

Pode-se afirmar que em uma linha de produção o objetivo é produzir o máximo possível, com menor custo e tempo possível, porém é notória a preocupação com gastos relacionados a manutenção, hora trabalhada por pessoa e tempo de parada do equipamento, em detrimento de um fator tão importante, o custo dos insumos de produção (COGNARD, 2006; REIS, 2023).

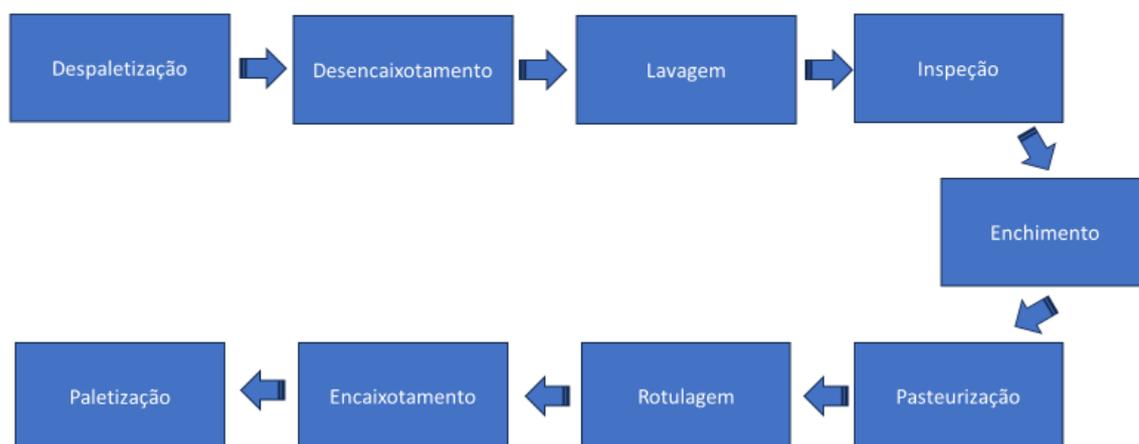
Neste trabalho será abordado um caso de quatro equipamentos de rotulagem de garrafas retornáveis que, embora estejam com os indicadores de manutenção e produção dentro do considerado ideal pela fábrica, estavam com altos prejuízos financeiros relacionados ao custo dos insumos de produção.

Serão estabelecidos os indicadores de consumo de cola e outros indicadores de manutenção como os principais parâmetros de medição de evolução do processo de melhoria.

De acordo com Crompton (2014) em uma linha de garrafas retornáveis, cujo objetivo é envasar produto para venda, o processo ocorre de forma linear, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.1. A seguir, uma explicação sucinta deste processo será realizada.

Inicialmente, a despaletizadora recebe paletes de 42 caixas de garrafas vazias de 600 ml, oriundas do mercado, que são então desmontados originando fileiras de caixas, que por sua vez seguem para a desencaixotadora onde são separados garrafeiras e garrafas, as últimas seguem para a lavadora de garrafas e as caixas para lavadora de caixas.

Figura 1.1 - Fluxograma esquemático do processo de envasamento de cerveja.



Fonte: Autor (2024).

As garrafas, nosso objeto de interesse, após saírem da lavadora seguem para o inspetor que garantirá sua integridade total. Após serem aprovadas no processo de inspeção seguem para a enchedora e arrolhador, onde são preenchidas e lacradas.

Após serem arrolhadas as garrafas seguem para o pasteurizador de túnel, onde, através de um banho de água quente de aproximadamente 60 minutos, a cerveja é pasteurizada, seguindo então para a rotuladora, objeto de estudo deste trabalho. Nesse processo as rotuladoras têm a função de colocar os rótulos na garrafa, de maneira alinhada em perfeito estado, sem rugas, rasgos, abrasão nem nenhum outro defeito de produção, a Figura 1.2 mostra um exemplo de garrafa rotulada em perfeito estado.

Figura 1.2 - Exemplo de garrafas em perfeito estado com e sem rótulos.



Fonte: EmbalagemMarca (2018).

Chama-se *foil* o rótulo que fica no gargalo da garrafa e *front* o rótulo que fica no corpo, na frente da garrafa, conforme podemos ver na Figura 1.3. A aplicação completamente aderente e alinhada dos rótulos é considerada a função básica da rotuladora, a rotulagem, fica estabelecida como o principal foco de análise e deste trabalho.

Figura 1.3 - Definição dos tipos de rótulos usados em garrafas retornáveis.



Fonte: Autor (2024).

Em relação às perdas de processo e produção, se procurará identificar as falhas e desgastes mecânicos operacionais que as causam, assim como tratar de corrigir e prevenir suas ocorrências, buscando potencializar a lucratividade e eficiência do processo de rotulagem.

Existem vários indicadores utilizados na manutenção de equipamentos. Neste trabalho, abordaremos os seguintes:

- MTTR (*Mean Time to Repair*), ou Tempo Médio de Reparação, que mede o tempo necessário para restaurar um equipamento ao seu estado de funcionamento total após uma falha.
- MTBF (*Mean Time Between Failures*), ou Tempo Médio Entre Falhas, que indica o intervalo médio de tempo entre falhas sucessivas de um equipamento.
- MTTF (*Mean Time to Failures*), Tempo Médio até Falhar, é um indicador que calcula o tempo entre o retorno a operação de início de uma nova falha, muito comum para calcular a vida útil de equipamentos que não podem ser reparados, precisando de substituição, como por exemplo uma lâmpada. Neste trabalho não faremos uso deste indicador pois pressupomos que com a manutenção adequada as rotuladoras terão vida infinita.

Na Figura 1.4 apresenta uma exemplificação visual dos indicadores de manutenção, pode-se ver o significado dos indicadores de manutenção de forma mais simplificada, entendendo sua correlação com as paradas para corretivas, preventivas e tempo em cada uma delas.

Figura 1.4 - Exemplificação visual dos indicadores de Manutenção.



Fonte: Autor (2024).

O Rendimento próprio de um equipamento mede sua eficiência em relação a um tempo ou capacidade de produção e é um parâmetro amplamente utilizado para medir a capacidade de produção de uma máquina ou sistema.

A Equação (1.1) apresenta uma definição para a determinação do rendimento próprio de um equipamento. O indicador do rendimento próprio é expresso em forma de percentual.

$$RP = \frac{T_t - T_p}{T_p} \quad (1.1)$$

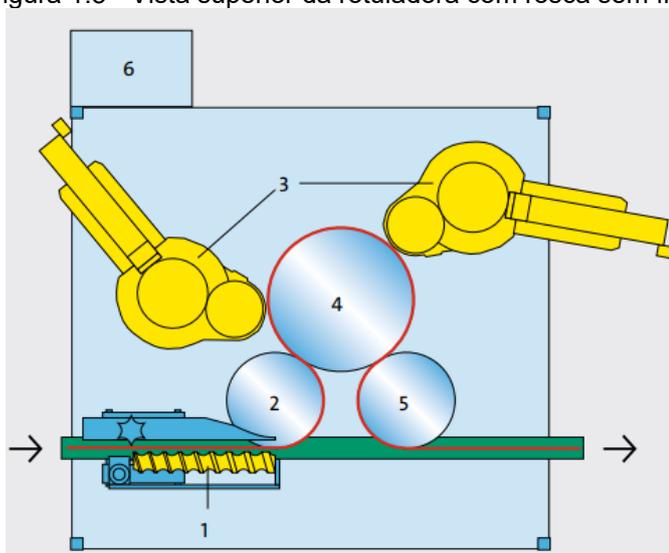
Onde, T_t é o tempo total, T_p é o tempo de parada devido a corretiva por falha no equipamento e RP é o rendimento próprio do equipamento.

Nesse caso usaremos o rendimento próprio utilizando o tempo de eficiência de linha como parâmetro base, pois queremos avaliar apenas os impactos na produção. Todos esses indicadores já são utilizados na fábrica para o equipamento em questão, o que facilita a coleta e análise dos dados.

Neste trabalho, o indicador de consumo de cola foi escolhido como indicador de custo. Esse indicador é altamente sensível a falhas mecânicas e operacionais no processo, portanto, as intervenções no equipamento voltadas para melhorias em folgas e falhas mecânicas serão avaliadas com base em MTTF, MTBF e, também pelo consumo de cola. O consumo de cola é um dos principais insumos do equipamento e, portanto, um parâmetro crucial para medir a eficácia das intervenções.

A máquina de rotular é abastecida na entrada por transportadores que fornecem as garrafas em um fluxo unifilar. As garrafas passam então por uma rosca sem fim, que as separa adequadamente para que se encaixem perfeitamente nos bolsões da estrela de transferência. Essa estrela movimenta as garrafas da rosca sem fim para o carrossel, onde os rótulos são aplicados. A Figura 1.5 apresenta a vista superior da rotuladora.

Figura 1.5 - Vista superior da rotuladora com rosca sem fim.



Fonte: (KRONES, 2010).

Após a aplicação do rótulo, este é pressionado contra a garrafa por escovas para garantir uma melhor aderência. Em seguida, a garrafa segue para a saída, onde

um *foil* é baixado com a ajuda de um massageador em forma de espátula. Finalmente, a garrafa rotulada sai do equipamento.

Este trabalho mostrará a melhoria dos indicadores de consumo de cola e manutenção MTTR e MTBF após adoção de estratégia de otimização da manutenção dos equipamentos de rotulagem de uma linha de garrafas retornáveis, buscando a evolução nos mesmos.

2 - JUSTIFICATIVA

Este estudo de caso tem como objetivo reduzir o consumo de cola em uma rotuladora Krones analisando seu sistema mecânico rotativo. Esta análise não aborda apenas desafios operacionais específicos, análises de falhas do sistema e indicadores de manutenção, mas também se alinha a objetivos estratégicos mais amplos, como eficiência, sustentabilidade e inovação na indústria.

A redução do consumo de cola em uma rotuladora pode ser justificada por diversas razões, sendo o custo um fator predominante, dado o elevado valor desse insumo. Essa diminuição impacta diretamente os parâmetros de qualidade do produto e evidencia uma sensibilidade notável à estabilidade mecânica do processo. Nesse contexto, os indicadores de manutenção desempenham um papel crucial no monitoramento do consumo de cola, tornando-se essenciais para o controle efetivo desse indicador.

A seguir, apresentam-se as razões comumente adotadas para considerar essa redução:

- **Economia de Custos:** A cola é um insumo que possui custos associados. Reduzir o consumo de cola pode resultar em economias diretas, melhorando a rentabilidade do processo de rotulagem.
- **Sustentabilidade Ambiental:** A redução no consumo de cola está alinhada com práticas sustentáveis, pois diminui o uso de recursos e minimiza o impacto ambiental associado à produção, transporte e descarte de materiais.
- **Eficiência Operacional:** Reduzir o consumo de cola pode resultar em menos paradas de produção para abastecimento, contribuindo para o aumento da eficiência operacional da rotuladora e a diminuição do tempo de inatividade.
- **Melhoria na Qualidade do Produto:** Reduzir o excesso de cola pode contribuir para a melhoria da qualidade do produto final. Cola em excesso pode causar problemas estéticos nos rótulos, como manchas ou irregularidades.
- **Atendimento a Regulamentações e Normas:** Em alguns setores e regiões, existem regulamentações ambientais que incentivam a redução do consumo de recursos, incluindo adesivos. Cumprir essas normas pode ser crucial para a reputação e conformidade da empresa.

- **Melhoria na Imagem da Marca:** A adoção de práticas sustentáveis e a preocupação com a eficiência operacional podem melhorar a imagem da marca perante os consumidores e parceiros comerciais, destacando a responsabilidade corporativa.
- **Menor Impacto na Saúde e Segurança:** Reduzir o consumo de cola pode resultar em menos exposição dos trabalhadores a substâncias químicas potencialmente perigosas, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro.
- **Inovação Tecnológica:** Novas tecnologias e métodos de rotulagem podem oferecer alternativas mais eficientes e econômicas em termos de consumo de cola. Investir em inovação pode proporcionar vantagens competitivas.
- **Maior Eficiência Energética:** Reduzir a quantidade de cola utilizada pode levar a uma menor demanda de energia, especialmente se o processo de secagem da cola envolver o uso de calor.
- **Resposta a Demandas do Mercado:** Se os consumidores estão demonstrando uma preferência por produtos com menor impacto ambiental, a redução no consumo de cola pode ser uma resposta proativa a essas demandas do mercado.

3 - OBJETIVOS

3.1 - OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral elaborar e implementar uma estratégia para melhorar o consumo de cola das rotuladoras das linhas de produção de uma cervejaria, acompanhando sua efetividade através dos indicadores de manutenção MTTR, MTBF e seu rendimento próprio.

3.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Implementar um sistema de medição do consumo de cola por rotuladora.
- Realizar análises detalhadas dos parâmetros do processo determinando os parâmetros críticos para manutenção corretiva, preventiva e condições ideais de operação.
- Implementar sistemas de monitoramento em tempo real para acompanhar o consumo de cola durante a produção.
- Relacionar indicadores de manutenção e consumo de cola.

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 - CONCEITO DE MANUTENÇÃO

De acordo com a ABNT (1994), manutenção é definida como, “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Além disso, de forma mais abrangente, a manutenção pode ser vista como um conjunto de cuidados técnicos essenciais para garantir que máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações operem de maneira eficiente e confiável ao longo do tempo.

A NBR 5462 define termos, conceitos e práticas associadas à confiabilidade, manutenibilidade e manutenção de equipamentos e sistemas. A norma classifica os tipos de manutenção em várias categorias, baseadas em seus métodos e finalidades (ABNT, 1994). A Figura 4.1 apresenta a distribuição dos tipos de manutenção.

Figura 4.1 - Métodos de Manutenção, baseado na sua finalidade.



Fonte: Autor (2024).

4.2 - TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção corretiva é caracterizada pela intervenção que ocorre somente quando há perda total ou parcial da capacidade de operação do equipamento, atuando apenas após o início da falha.

A manutenção preventiva, baseada no conhecimento prévio adquirido ou nas recomendações do fabricante, a máquina passa por intervenções programadas, seja com base no tempo de operação, seja na condição de desgaste previamente definida. Um exemplo disso seria a troca obrigatória de um subconjunto, independentemente de sua condição atual, após uma quantidade específica de horas de uso ou ciclos de acionamento.

O avanço da tecnologia permitiu a criação de novos métodos de inspeção, dando origem à manutenção prescritiva, cuja principal característica é o uso do cruzamento do histórico de falhas com informações obtidas por meio de monitoramento realizado através de sensores e afins.

A manutenção preditiva, diferentemente das mencionadas anteriormente, baseia-se em medições técnicas, como temperatura, vibração e ruído, para

determinar o momento adequado de iniciar uma atividade de manutenção. Ela também pode ser sensitiva, utilizando visão, audição, olfato e tato para avaliar o estado do subconjunto ou da máquina (SENAI, 2015).

4.3 - ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO DE ENVASE DE CERVEJA

O processo produtivo em uma linha de envase de cerveja segue uma sequência clara de etapas, geralmente vinculadas ao funcionamento de maquinário específico. Chiquetti (2015) e Barbosa (2015) fornecem uma descrição abrangente do funcionamento de uma linha de envase de cerveja.

As etapas do processo produtivo examinadas neste estudo são as seguintes: Despaletização, Desencaixotamento, Lavagem, Inspeção, Enchimento, Lacração, Pasteurização, Rotulagem, Encaixotamento e Paletização. A Figura 1.1 mostra o fluxograma esquemático de uma linha de envase.

A linha de envase é definida como a sequência de equipamentos mencionados na Figura 1.1. O reposicionamento da máquina de pasteurização na sequência do processo é possível, dependendo do tipo de equipamento (pasteurização em flash, túnel, etc.), e todas as máquinas são interligadas por transportadores (CROMPTON, 2012).

Figura 4.2 - Posicionamento do balde de cola no equipamento de rotular.

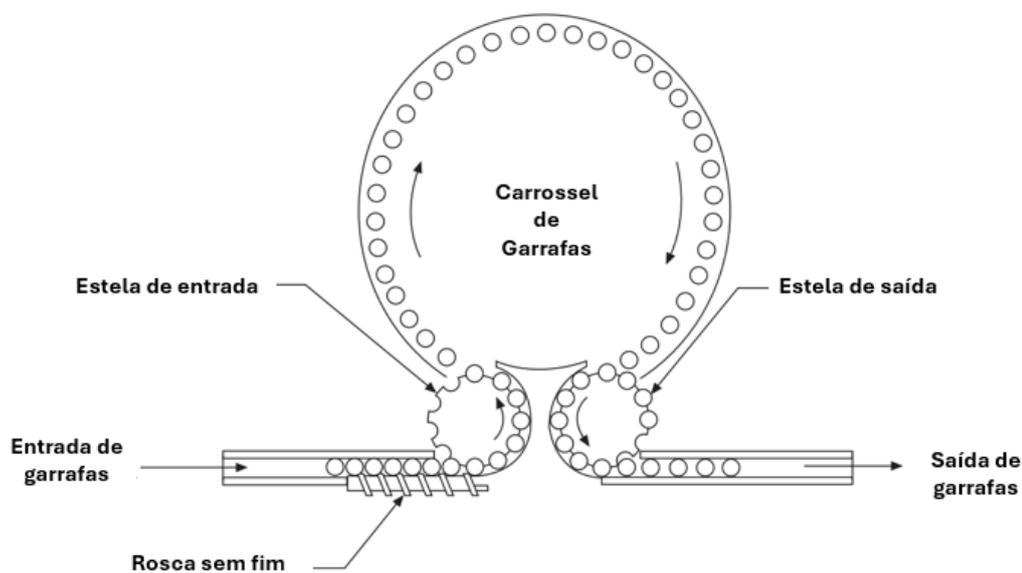


Fonte: (KRONES, 2023).

O processo de rotulagem tem por objetivo aplicar os rótulos na embalagem e se dá da seguinte forma: os cartuchos de rótulos são abastecidos com insumos, e o rolo de cola é alimentado com cola proveniente do balde de cola por uma mangueira e dosada diretamente sobre o mesmo. A Figura 4.2 apresenta fotografia do equipamento, assim como a posição do balde de cola.

As garrafas entram através de um transportador no equipamento de rotulagem sendo adequadamente separadas na rosca sem fim, na entrada da máquina para adquirir espaçamento adequado ao carrossel, conforme podemos ver na Figura 4.3.

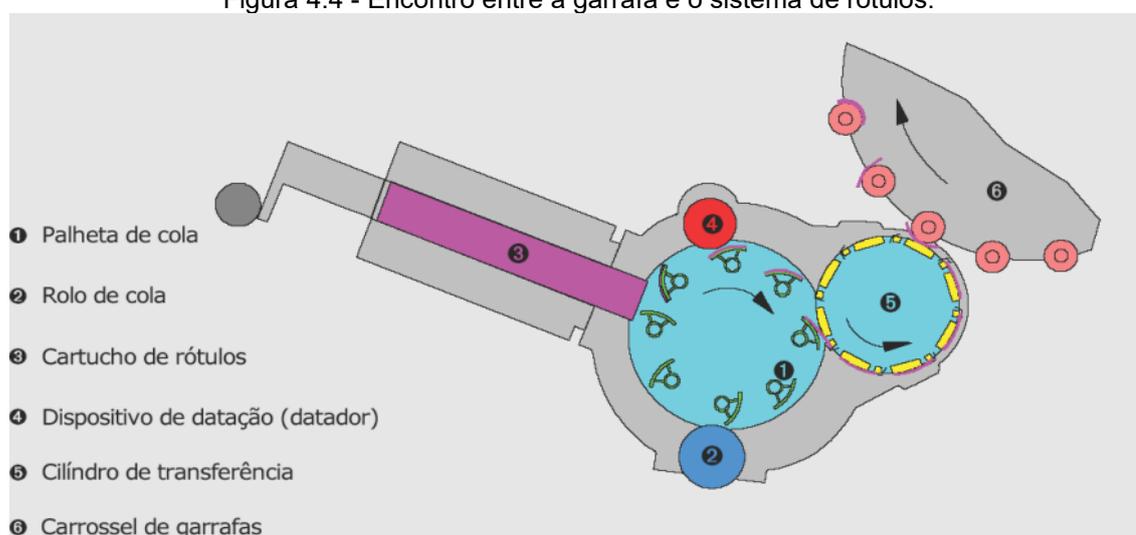
Figura 4.3 - Sequência de entrada e saída das garrafas retornáveis no carrossel de garrafas da rotuladora.



Fonte: (CRAMPTON, 2012).

Em contraponto, os insumos de rotulagem são introduzidos no cartucho de rótulos e no rolo de cola, que juntos compõem o sistema de rotulagem, conforme ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Encontro entre a garrafa e o sistema de rótulos.



Fonte: (KRONES, 2023).

O cilindro de transferência é responsável pela conexão entre o sistema de entrada das garrafas e o sistema de rótulos. É nesse componente que ocorre a transferência dos rótulos, já com adesivo aplicado, para as garrafas. As Figuras 4.5 e 4.6 exemplificam os detalhes construtivos desse processo.

Figura 4.5 - Vista lateral dos subconjuntos da rotuladora Krones.

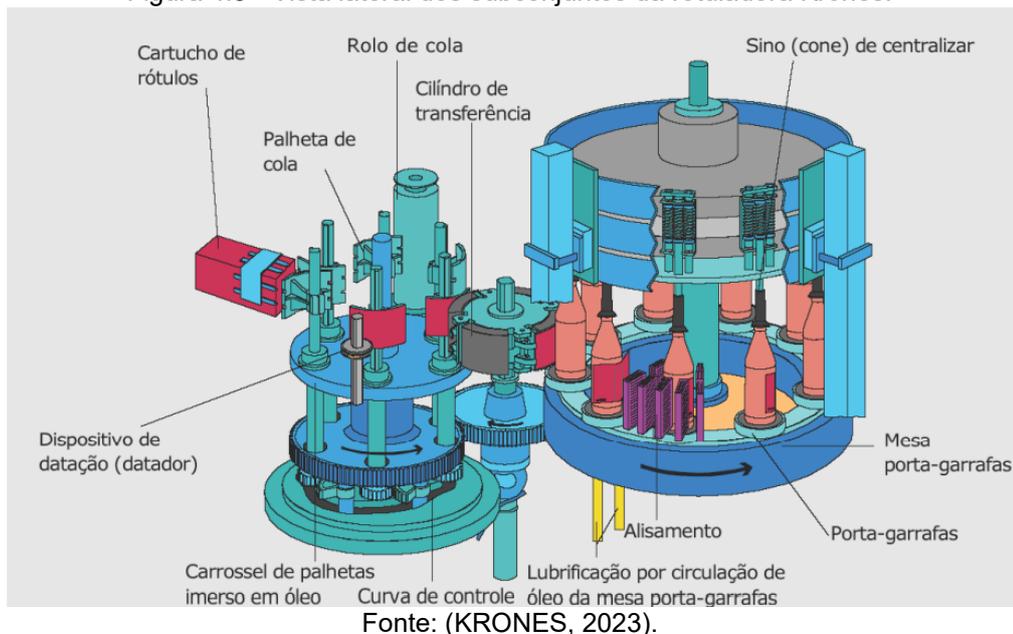
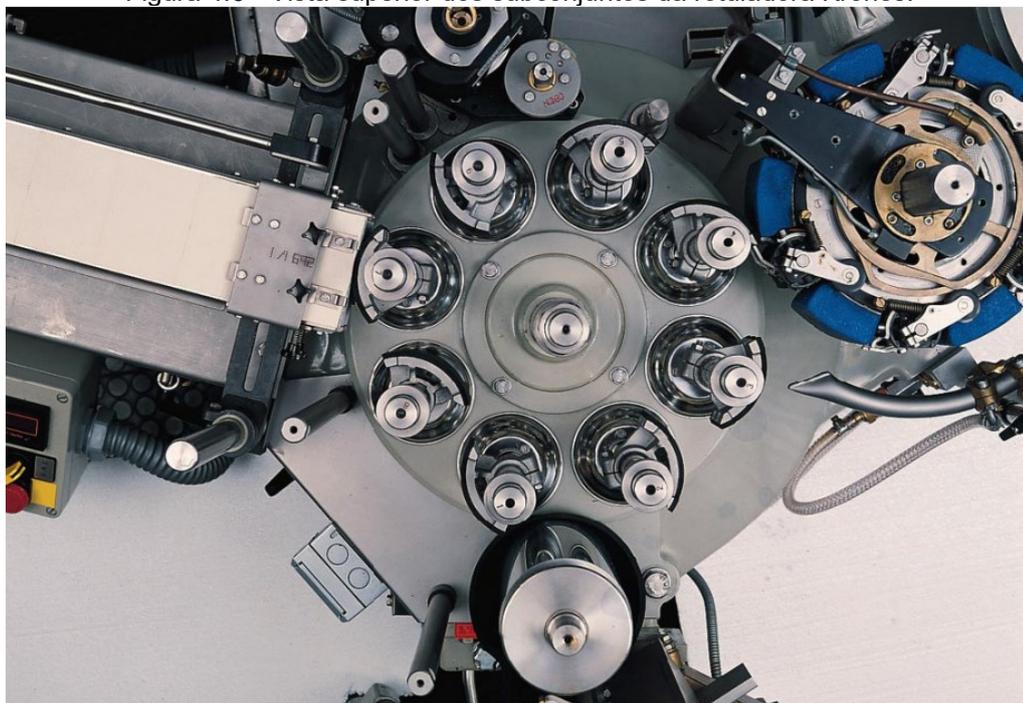


Figura 4.6 - Vista superior dos subconjuntos da rotuladora Krones.



4.4 - FALHAS MECÂNICAS EM SISTEMAS ROTATIVOS

Uma vez compreendida a metodologia do processo de aplicação de rótulos é possível entender a existência de processos de desgaste mecânico em vários dos

subconjuntos do equipamento, caracterizamos como desgaste danos progressivos a uma superfície causado pelo movimento relativo com outra substância ou superfície (BAYER, 2004).

A existência de desgaste pode ocasionar falhas mecânicas que podem ter efeitos significativos na estrutura e no desempenho do sistema mecânico das rotuladoras. Segundo Arco-Verde (2008) as falhas mais comuns em sistemas rotativos são:

- **Desbalanceamento:** Pode resultar em vibrações excessivas que, ao longo do tempo, podem causar fadiga estrutural, desgaste prematuro de componentes e, em casos extremos, levar a falhas catastróficas.
- **Desalinhamento:** Alinhamento inadequado pode causar forças e cargas desiguais nos componentes, levando a desgaste irregular, aumento do atrito e possivelmente deformações estruturais.
- **Empenamento de Eixo:** Pode causar vibrações, desalinhamento e aumento do desgaste em rolamentos, resultando em falhas prematuras e comprometimento da integridade estrutural.
- **Falha em Rolamentos:** Pode levar a vibrações, aumento do atrito e desgaste em componentes circundantes, afetando a estabilidade e a integridade estrutural.
- **Folga Mecânica:** A folga excessiva pode resultar em movimentos indesejados, vibrações e desalinhamento, afetando a precisão e estabilidade da máquina.
- **Roçamento:** Pode causar desgaste significativo em superfícies de contato, levando a perda de material e, eventualmente, falha estrutural.
- **Falhas em Engrenamento:** Engrenagens com problemas podem gerar forças desiguais, desalinhamento e aumento do desgaste, afetando a integridade estrutural e a eficiência do sistema.
- **Ressonância:** Pode levar a amplificação de vibrações, causando estresse adicional em componentes estruturais e aumentando o risco de falhas.
- **Lubrificação:** Má lubrificação pode resultar em atrito excessivo, desgaste prematuro e aumento da temperatura, afetando a integridade dos componentes e da estrutura.

- **Falhas Elétricas:** Interrupções elétricas inesperadas podem resultar em paradas bruscas ou operações incorretas da máquina, potencialmente causando danos estruturais e mecânicos devido a impactos inesperados.

Conforme estipulado pela NBR 5462, a manutenção preventiva refere-se à prática de realizar intervenções em intervalos previamente definidos ou de acordo com critérios específicos. Seu propósito é reduzir a probabilidade de falhas ou degradação no desempenho de um componente (ABNT, 1994). Com base nisso, serão estabelecidas as principais atividades de manutenção preventiva para assegurar que a rotuladora opere nas condições mais ideais possíveis. Isso se justifica pelo fato de que máquinas bem mantidas geralmente apresentam um desempenho mais consistente e econômico.

5 - METODOLOGIA

O acompanhamento in loco do processo produtivo visa identificar os passivos de manutenção que causaram o desvio no indicador, analisando os tipos de falhas mecânicas encontradas e sua correlação com o aumento do consumo de cola.

Essa pesquisa será realizada em uma fábrica de envase de cerveja localizada em São Luís - MA. O estudo caracteriza-se como um estudo de caso e terá uma abordagem quantitativa.

A metodologia empregada para alcançar o objetivo proposto, consta das etapas de levantamento dos problemas onde será acompanhado o processo produtivo e de manutenção das quatro rotuladoras. A intenção é determinar quais passivos são mais críticos nos processos de falha e consumo de cola dos equipamentos. Correlacionando os possíveis tipos de desgaste mecânico envolvidos no processo do aumento do consumo de cola.

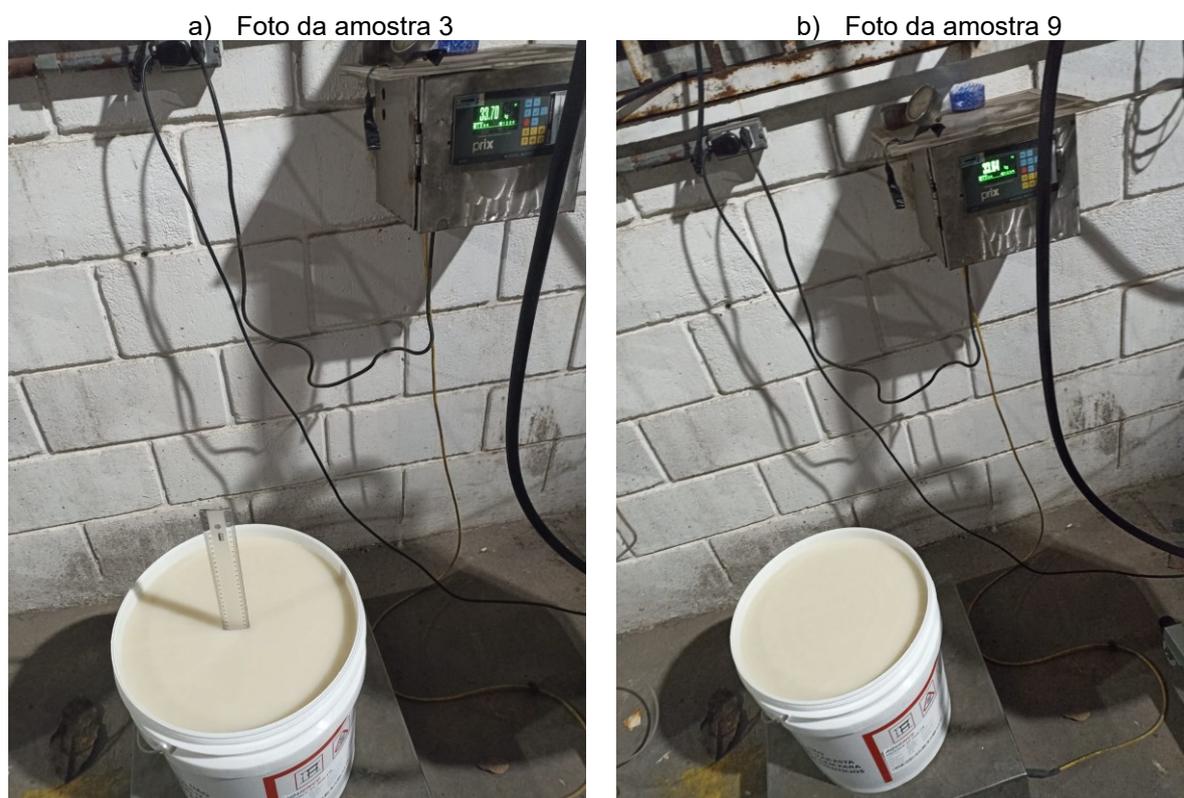
5.1 - LEVANTAMENTO DOS PROBLEMAS

Durante o início do acompanhamento dos equipamentos, foi identificado que o processo de monitoramento do consumo de cola por máquina não existia. Em vez disso, era feito um registro do consumo total do dia para cada linha, e o indicador era calculado com base no volume produzido.

Com esta falta de monitoramento, uma simples troca nos baldes de insumos poderia levar a um errôneo direcionamento dos esforços e recursos. Diante da ausência de uma metodologia de medição do consumo, foi desenvolvida pela autora a abordagem descrita a seguir.

Foi feita a pesagem de 10 baldes de cola, conforme pode-se ver na Figura 5.1, de lotes diferentes e contactado o fornecedor para melhor entendimento de como era medida na fábrica a quantidade de cola inserida no mesmo.

Figura 5.1 - Pesagem dos baldes de cola antes da utilização para medição da variação da massa real com o peso padrão.



Fonte: Autor (2024).

Figura 5.2 - Foto medição da altura do balde de cola cheio com a régua.



Fonte Autor (2024).

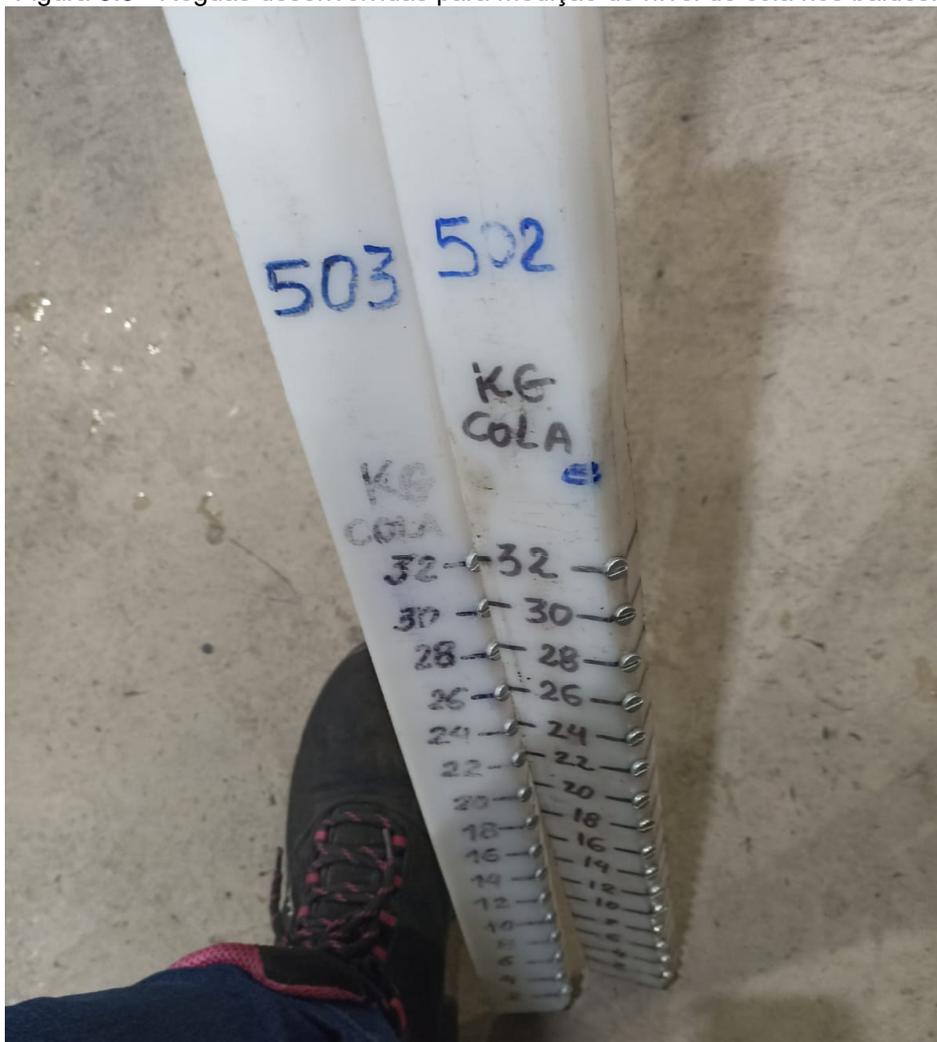
Foi medida a profundidade dos baldes, exemplificado na Figura 5.2, e feito o cálculo aproximado da massa no balde baseado no peso médio, e então foi desenvolvida uma forma de estimar a massa consumida, baseado no nível de cola medido dos baldes onde Equação (5.1) apresenta a fórmula de conversão entre o nível de cola medido e a massa de cola consumida do balde.

$$\underline{M_{cola} = \frac{32}{34} \times N_{cm}} \quad (5.1)$$

Onde, M_{cola} , é a massa aproximada de cola em Kg e N_{cm} , é o nível de cola em cm.

Após viabilizada a contagem (quantificação) da massa da cola consumida, foi necessário desenvolver uma régua maior e mais resistente. A Figura 5.3 apresenta fotografia da régua desenvolvida.

Figura 5.3 - Régua desenvolvida para medição do nível de cola nos baldes.



Fonte: Autor (2024).

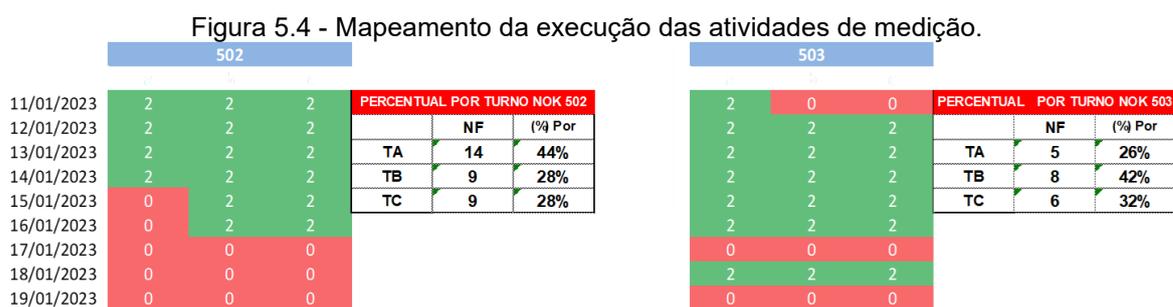
Foi necessário desenvolver um novo instrumento de medição visto que durante o manuseio de medições, nos primeiros 2 dias, a operação relatou perda, quebra e desgaste da tinta das régua utilizadas.

Para fabricar as novas régua de medição, utilizamos dois materiais inicialmente uma barra chata de ferro e uma barra chata de um material polimérico resistente a corrosão chamado Tecast,

A barra de ferro causou contaminação da cola por partículas de ferro na primeira utilização, sendo imediatamente descartada por isso, permanecemos com a barra de Tecast, que apresentou resistência a corrosividade da cola e viabilizou a fabricação de régua de tamanho superior a 1,2 metros, comprimento requisitado pela operação para melhorar a ergonomia do processo. Por fim, os níveis marcados na régua começaram a apagar então marcamos com parafusos de aço inoxidável as

alturas que representavam os pesos, aumentando com passo de 2kg, e esta tornou-se a ferramenta final de medição.

Iniciamos o acompanhamento do consumo de cola por equipamento, pois o adesivo é o insumo mais caro da linha de produção e o acompanhamento por equipamento permitiria determinar ações e atividades para reduzir custo e melhorar a performance dos equipamentos. Para acompanhar e tratar os casos de não execução das contagens mínimas (inicial e final) do consumo de cola, foi feito um acompanhamento da execução da atividade, a fim de acompanhar e tratar de forma mais ágil os desvios de execução.



Fonte: Autor (2024).

Após o início das medições, passou-se a acompanhar as atividades realizadas pela operação através de acompanhamento da execução por turno, conforme apresentado na Figura 5.4. Para reduzir o consumo em seus respectivos turnos e máquinas, e, a partir dessas intervenções, levantaram-se os passivos de manutenção existentes e estabeleceu-se a priorização das tratativas.

Uma vez que os indicadores de manutenção foram coletados a partir do próprio sistema de apontamento de paradas da empresa, apenas os indicadores de custo precisavam de acompanhamento paralelo durante o processo. Foi obtida a análise histórica dos indicadores de Consumo de Cola, MTTF e MTBF, além do Rendimento Próprio do equipamento, com o objetivo de avaliar e validar os processos de manutenção mecânica executados, assim como buscar melhorias no processo.

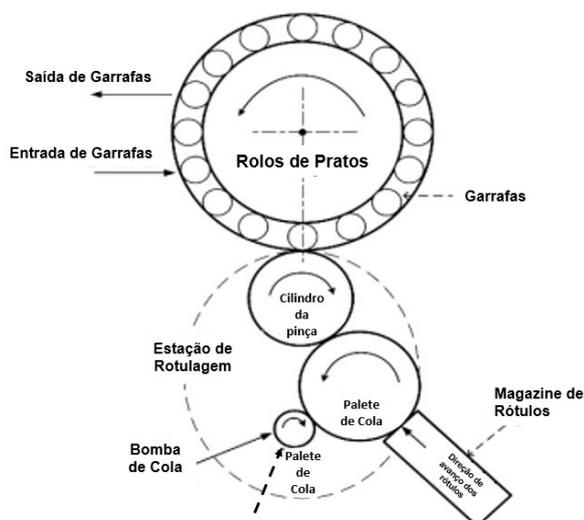
Após essa etapa, foi elaborado um plano de ação para estabelecer as principais atividades mecânicas e suas periodicidades, visando alcançar os resultados esperados a médio e longo prazo para os indicadores mencionados. A implantação do plano de ação definiu prazos para a execução das tarefas, com o objetivo de priorizar adequadamente as atividades relacionadas a compras e trocas de subconjuntos, e avaliar o ganho efetivo nos indicadores. Seguiu-se a análise dos

resultados, realizando a verificação após a manutenção e correlacionando os valores com os eventos ocorridos durante a execução das atividades, justificando as dispersões e valores para a apuração das informações e identificando ações relevantes para atingir os objetivos.

Por fim, foram definidas as tarefas críticas de manutenção preventiva, determinando quais atividades deveriam ser mantidas no processo para alcançar o resultado esperado. Também foi estabelecido, de forma matemática, o limite teórico dos resultados que poderiam ser obtidos no processo em seu estado ótimo, para a parametrização dos valores reais factíveis, considerando o que pode ser classificado como bom ou ruim no processo de rotulagem, com base teórica.

Após a definição do limite teórico, foram estabelecidos os limitantes empíricos para, então, determinar metas factíveis a serem alcançadas no período determinado com os recursos disponíveis. A título de exemplo, a quantidade teórica de cola a ser aplicada foi determinada pela área de aplicação versus a espessura de aplicação. Essa espessura, por sua vez, foi determinada pelo fio de cola, um parâmetro operacional controlado pelo operador do equipamento, estabelecido pela distância entre o palete de cola e o rolo de cola, conforme demonstrado na Figura 5.6, no sistema rotativo apresentado na Figura 5.5 (INTHARAK et al., 2015).

Figura 5.5 - Distância entre o palete de cola e o rolo de cola.

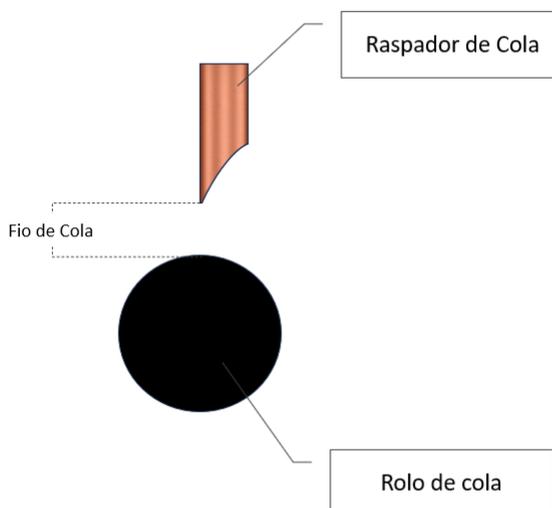


Fonte: (INTHARAK et al., 2015).

Uma vez que o consumo de cola por equipamento foi medido, passou-se a observar quais parâmetros e subconjuntos impactaram diretamente no consumo, que é uma variável direta da aplicação da cola no rótulo e da quantidade de garrafas

envasadas. Vale destacar que, nesse período, as intervenções buscando regulação e controle do processo resultaram na diminuição do MTTR e do MTBF, pois houve um aumento no número de intervenções e nas falhas associadas ao processo.

Figura 5.6 - Aplicação de cola no rolo de cola.



Fonte: Autor (2024).

O indicador do consumo de cola foi medido em quilogramas por hectolitro envasado seguindo os seguintes passos:

1. Mede-se a massa em kg de cola de hora em hora.
2. Coleta-se a quantidade de garrafas envasadas de hora em hora, conforme a Figura 5.7.
3. Converte-se a quantidade de garrafas envasadas em hectolitro utilizando a Equação (5.2)

$$\underline{hL} = N \times 0,006 \quad (5.2)$$

Onde N , é o número de garrafas envasadas e rotuladas no período analisado. 0,006 é o fator de conversão, pois cada garrafa possui 600 ml e que corresponde a 0,006 hectolitros.

4. Calcula-se o ICM utilizando a Equação (5.3).

$$ICM = \frac{M_{cola}}{hL} \quad (5.3)$$

Onde, ICM , é o indicador de consumo de cola em kg/hl, M_{cola} , é a massa de cola em kg e hL , é a quantidade de cerveja envasada em hectolitros.

Tabela 5.7 - Coleta de garrafas envasadas durante o processo.

		Corte de produção	
		Rotuladora 1	Rotuladora 2
Unidades de garrafas	Bruto	28620	45678
	Líquido	28150	44839
	mal cheia	16	806
	mal rotulada	455	-

Fonte: Autor (2024).

Durante a coleta de dados da produção das rotuladoras, estabelecemos os seguintes critérios:

1. O primeiro número era sempre a produção bruta, ou seja, quantidade de garrafas que entraram na rotuladora para rotulr.
2. O segundo número era sempre a produção líquida, ou seja, a quantidade de garrafas em perfeitas condições de venda que saía da rotuladora.
3. O terceiro número eram as garrafas rejeitadas por defeitos de rotulagem.
4. O quarto número eram as garrafas rejeitadas por nível baixo de enchimento.

Com a implementação das novas metodologias de monitoramento do consumo de cola, foi possível não apenas obter uma visão clara das variáveis que afetam a eficiência do processo de rotulagem, mas também criar uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas.

O acompanhamento rigoroso das medições permitiu identificar padrões, reduzir desperdícios e otimizar custos, além de melhorar o desempenho mecânico dos equipamentos. As ações empreendidas, como a criação de instrumentos de medição apropriados e a realização de manutenções preventivas, contribuíram para a redução do consumo do insumo mais crítico da linha de produção. Dessa forma, consolidamos um processo mais eficiente e sustentável, garantindo que as intervenções futuras sejam fundamentadas em dados reais e análises acuradas, adequando-se assim às demandas do mercado e às exigências de qualidade dos produtos oferecidos.

6 - RESULTADOS

Os resultados obtidos foram divididos em: Parâmetros; Subconjuntos Críticos; Atividades Críticas e Evolução dos Indicadores de Manutenção.

6.1 – PARÂMETROS DE CONTROLE

Serão apresentados aqui os parâmetros básicos de operação do equipamento para obtenção dos resultados ótimos de consumo de cola.

O parâmetro de excentricidade do eixo central do rolo de cola deve ser de no máximo 0,03 mm. Se o valor medido estiver acima do parâmetro, o eixo central precisa ser realinhado. Por conseguinte, deve-se investigar a origem do desbalanceamento, podendo ser o desgaste de buchas, assim como rolamentos quebrados, entre outros.

Os raios bases dos paletes, pontos mais afastados radialmente entre os eixos do rolo de cola e dos paletes de rótulos não devem divergir em mais que 0,2 mm entre si. Essa distância impacta diretamente na pressão exercida no rolo de cola, resultando em desgaste dos subconjuntos. O incremento da folga entre os componentes, seja por ajuste inadequado ou ausência de força de contato, acarreta desgaste prematuro ou falha do subconjunto.

Quando começam as falhas de rotulagem por baixa pressão, ou ineficiência na distribuição da cola ao longo do encaixe do eixo de paleta de rótulos, pode-se compensar esses desvios aumentando o consumo da cola, pois ao aumentar a vazão da mesma, cria-se uma camada mais espessa que compensa a folga existente entre os subconjuntos, o que é uma solução inadequada visto que aumenta o consumo do insumo.

Quando esse valor ultrapassa os 0,2 mm temos possivelmente eixos danificados ou encaixe poligonal, conforme exemplificado na Figura 6.1 abaixo, onde pode-se verificar desgaste por abrasão e por impacto, das luvas de proteção do eixo da árvore principal e dos paletes de rótulos.

Figura 6.1 - Encaixes dos eixos.



Fonte: Autor. (2024)

A prensa de contato dos paletes no rolo de cola, conforme a Figura 6.2, deve ser de 0,1 mm.

Figura 6.2 - Paleta de rótulos e rolo de cola.



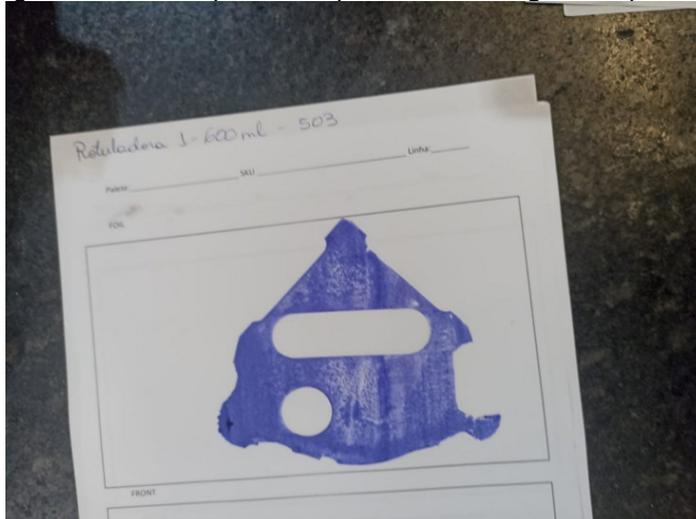
Fonte: Autor (2024).

Para medir o desgaste das superfícies e a adequada distribuição da pressão, desenvolveu-se um método simples, onde passou-se tinta de carimbo sobre as borrachas dos paletes, e prendeu-se uma folha no rolo de cola que com um movimento simples, toda a superfície deve ser decalcada para o papel.

Na situação em que isto não ocorre no rolo mas ocorre no teste externo, significa que há necessidade de ajuste na posição do rolo ou do paleta. No caso em que existe má distribuição da tinta no teste de mesa conforme podemos ver na Figura

6.3 (mesmo teste do decalque, só que feito apenas no palete na mesa), pode significar um desgaste na superfície da borracha, que neste caso deve ser trocada.

Figura 6.3 - Decalque a tinta para avaliar desgaste superficial



Fonte: Autor (2024).

Como podemos ver na Figura 6.3, o decalque usado de exemplo já apresenta evidências de desgaste superficial por fadiga, visto que visualmente parece intacto, mas no teste de decalque apresenta baixa transferência da tinta.

Há também os casos mais evidentes de desgaste, como podemos ver na Figura 6.4, onde partes da superfície emborrachada apenas se desprendem, evidenciando o desgaste da superfície.

Figura 6.4 - Desgaste da superfície emborrachada do paleta de rótulos.



Fonte: Autor (2024).

Os pontos onde existe a presença de desgaste resultam em aumento do consumo de cola de três formas:

1. Por acúmulo de cola nos pontos onde a superfície não está íntegra.

2. Por compensação no fio de cola, por uso excessivo ao tentar compensar a maior distância entre as superfícies com o aumento da vazão.
3. Por retrabalho devido a necessidade de reaplicar o rótulo, devido a má distribuição da cola, que implica em má-aderência do rótulo, conforme podemos ver na Figura 6.5.

Figura 6.5 - Exemplo de aplicação de cola eficiente com a presença de falhas e aplicação ineficiente com ausência de cola.



Fonte: Autor (2024).

Na Figura 6.6 é apresentado o raspador de cola, subconjunto essencial para garantir a espessura ideal da camada de cola sobre o rolo de cola e, portanto, controlar o consumo de cola. Além disso, é possível observar seu perfil curvo, que assegura uma raspagem com o escoamento adequado, bem como o fio de lâmina, que é a área onde normalmente ocorre o maior desgaste.

Figura 6.6 - Raspador de cola.



Fonte: Autor (2024).

6.2 - SUBCONJUNTOS CRÍTICOS

Foram identificados os subconjuntos mecânicos críticos e suas periodicidades de troca e de manutenção e limpeza.

Quadro 6.1 - Subconjuntos críticos e suas periodicidades de troca e limpeza

Subconjunto	502 RT1	502 RT2	503 RT1	503 RT2	Recorrência de Troca	Periodicidade de Limpeza	Inspeção
Raspador de cola	●	●	●	●	Sob inspeção, sempre que não for possível manter os 1mm de distância entre o rolo e o raspador	8h	Semanal
Esponjas massageradoras	○	●	●	●	Mandatória, a cada 3 meses.	Semanal	Semanal
Eixos dos paletes	○	○	●	●	Sob inspeção, sempre que não for possível manter os parâmetros de excentricidade.	Semanal	Semanal
Buchas dos paletes	○	○	●	●	Sob inspeção, sempre que não for possível manter os parâmetros de excentricidade.	Mensal	Mensal
Rolamento central do eixo dos paletes	●	●	●	○	Sob inspeção, sempre que não for possível manter os parâmetros de excentricidade.	Semanal	Semanal
Paletes de rótulos	○	○	●	●	Bienal, ou sempre que as inspeções de decalque de tinta ou visual mostrarem alto desgaste.	Mensal	Mensal
Eixo do Rolo de Cola	○	○	●	●	Sob inspeção, sempre que não for possível manter os parâmetros de excentricidade.	Mensal	Mensal
Rolo de Cola	○	○	●	●	Sob inspeção, sempre que não for possível manter os 1mm de distância entre o rolo e o raspador	Semanal	Mensal

Legenda: ● Executada ○ Não Executada

Fonte: Autor (2024).

Utilizando as esponjas massageradoras como exemplo, pode-se verificar a avaliação visual do desgaste nos subconjuntos. Com base nas fotografias apresentadas na Figura 6.7, nota-se que, no lado esquerdo, estão dois modelos de esponjas massageradoras com elevado desgaste. No lado direito, encontram-se os mesmos modelos em condições ideais de uso.

Figura 6.7 - Exemplo de material com desgaste detectável em inspeção visual.



Fonte: Autor (2024).

Houveram ainda ocorrências de alta perda que não estavam relacionadas com folga nos encaixes poligonais, mas devido a outros fatores, como exemplo, podemos citar a ocorrência do desgaste da engrenagem motriz do motor do eixo central (Figura 6.8), devido à falta de lubrificação, que a médio prazo comprometeu os encaixes poligonais da linha 502 na rotuladora 2, porém como os mesmos eram novos, a perda de cola e a necessidade de uma nova troca fora da periodicidade foi associada ao desgaste forçado causado por uma falha não diretamente ligada às atividades críticas para a melhoria do consumo de cola, mas sim para a performance do equipamento como um todo, que significa que, uma vez exauridos os parâmetros conhecidos de causas de perda, deve-se verificar as atividades de rotina da máquina, para verificar a possível ocorrência de eventos que podem resultar em perda de forma indireta.

Figura 6.8 - Desgaste do pinhão devido à falta de lubrificação.



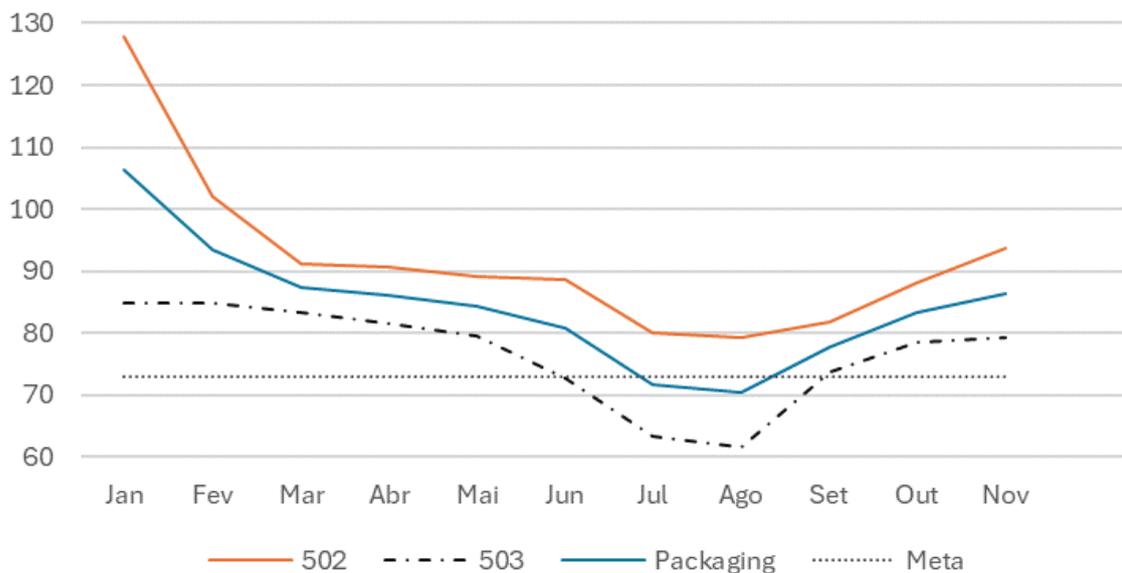
Fonte: Autor (2024).

6.3 - MELHORIA DO CONSUMO DE COLA

Abaixo podemos acompanhar o consumo de cola em kg/hl das linhas 502 e 503 assim como o consumo total considerando todas as quatro rotuladoras, onde podemos ver a melhoria significativa do indicador, que está diretamente relacionada às atividades de manutenção preventiva e corretiva efetuadas nos equipamentos de rotulagem da linha.

Em termos percentuais a linha 502 diminuiu o consumo de cola em 38,04% e a linha 503 em 27,44%. Embora a meta não tenha sido atingida em ambas as linhas, a evolução mostra que a troca dos paletes de rótulos que foi executada apenas na linha 503, e ficou como ação pendente na linha 502, é a atividade que vai tratar o desvio que permanece. Na Figura 6.9 podemos ver que o indicador de consumo de cola diminuiu ao longo dos meses, essa evolução se deve as atividades de manutenção (exemplificadas no Quadro 6.1) e também as gestão das atividades operacionais e de manutenção preventiva e corretiva que ocorreram ao longo das atividades, sendo importante destacar que a manutenção da rotina mostra-se tão crucial para a melhoria do indicador que nos meses de outubro a dezembro onde várias das atividades deixaram de ser executadas o indicador de consumo de cola mostra retrocesso, voltando a aumentar, conforme pode ser visto na Figura 6.9.

Figura 6.9 - Gráfico do consumo de cola em kg/hl das linhas 502 e 503 ao longo dos meses.



Fonte: Autor (2024).

6.4 – EVOLUÇÃO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO

6.4.1 Melhoria do Rendimento Próprio dos equipamentos.

O Rendimento Próprio considera o tempo que o equipamento permaneceu parado por falhas próprias, e o tempo total que a linha permaneceu operando menos o total de paradas da linha. As definições necessárias ao entendimento deste cálculo estão listadas abaixo.

Horas Totais: total de horas no mês.

Paradas Externas: horas em que a linha permaneceu sem produzir devido a fatores externos, como falta de energia, falta de garrafas ou ausência de demanda.

Paradas Programadas: horas destinadas a paradas para limpeza e manutenções programadas, como PCM e *Overhaul*.

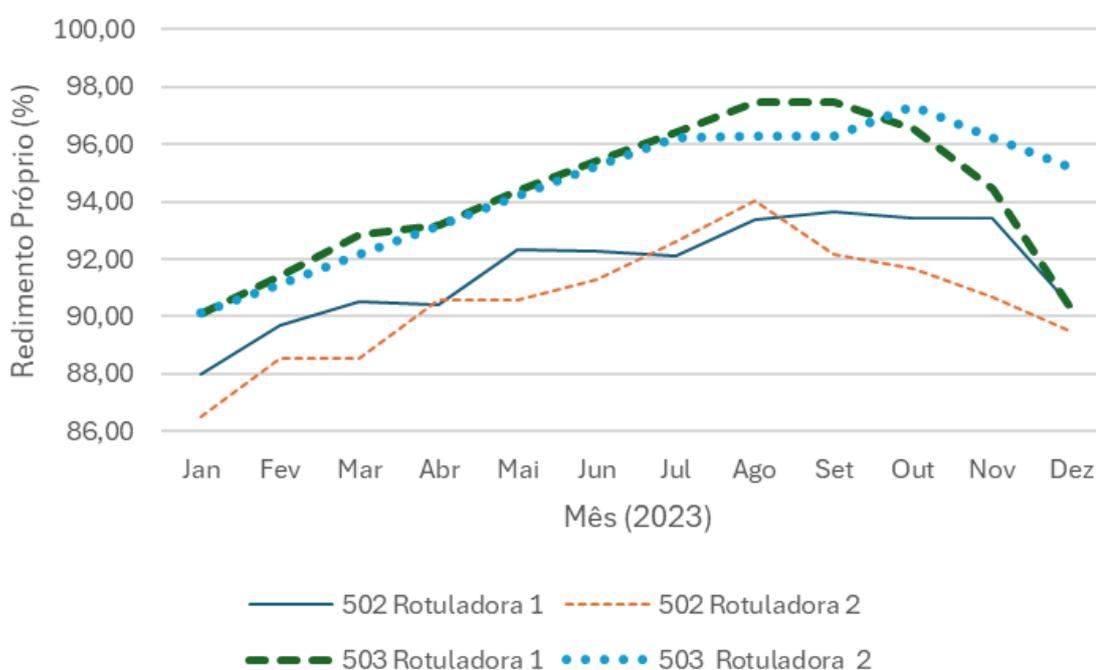
Horas de Eficiência de Linha: tempo em que a linha permaneceu operando sem sofrer impactos internos, como manutenção corretiva, paradas para ajustes ou falta de operadores.

Ineficiência de Equipamento: horas em que o equipamento permaneceu parado devido a falhas próprias.

Rendimento Próprio: porcentagem do tempo em que o equipamento permaneceu operando ou disponível para operar, considerando apenas as horas de eficiência de linha.

Ao utilizar a Equação (1.1), foram obtidos os resultados mostrados na Figura 6.10 para os rendimentos próprios dos equipamentos. Conforme esperado, a rotuladora 1 da linha 503 apresentou a melhor performance no período analisado, pois, além de realizar todas as manutenções corretivas necessárias, cumpriu os planos de manutenção de forma mais eficiente, realizando inspeções preventivas e atividades direcionadas de maneira diligente. Em contraste, a rotuladora 1 da linha 502 apresentou menor evolução. Entre os diversos fatores que contribuíram para essa baixa performance, destacam-se a não substituição de peças com alto desgaste e o acompanhamento inadequado por parte da equipe nas atividades críticas da máquina.

Figura 6.10 - Rendimento próprio das rotuladoras.

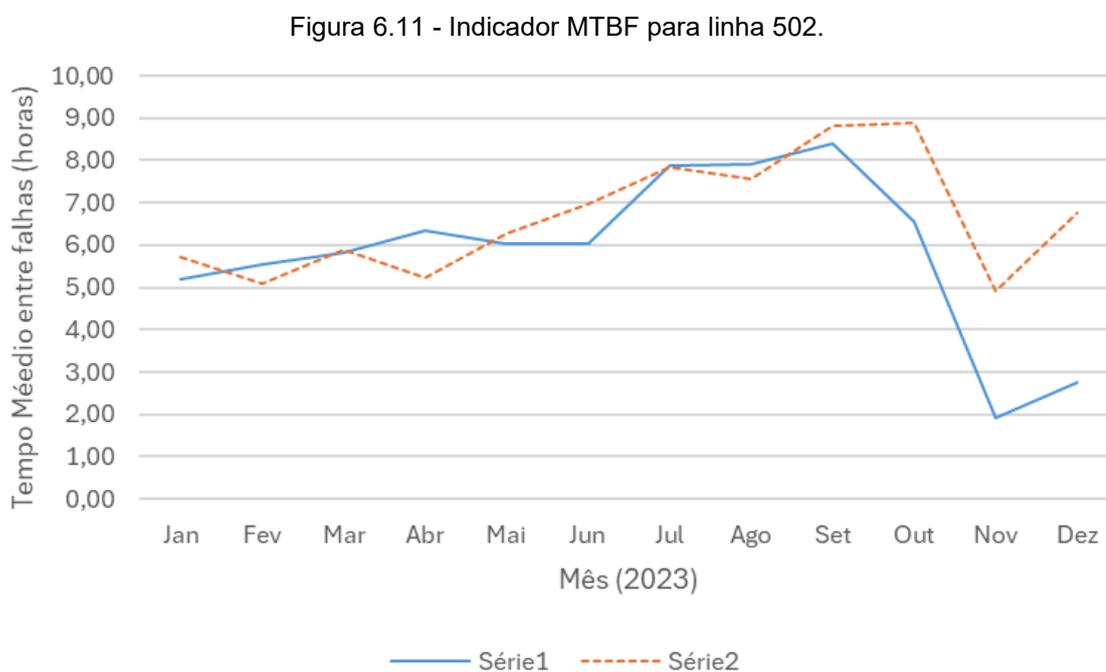


Fonte: Autor (2024).

6.4.2 MTBF

O indicador de manutenção MTBF dos equipamentos trabalhados aumentou em todas as máquinas, na Figura 6.11 na 502 e na Figura 6.12 na 503 entre janeiro e setembro, período de tempo em que as máquinas passaram funcionando aumentou,

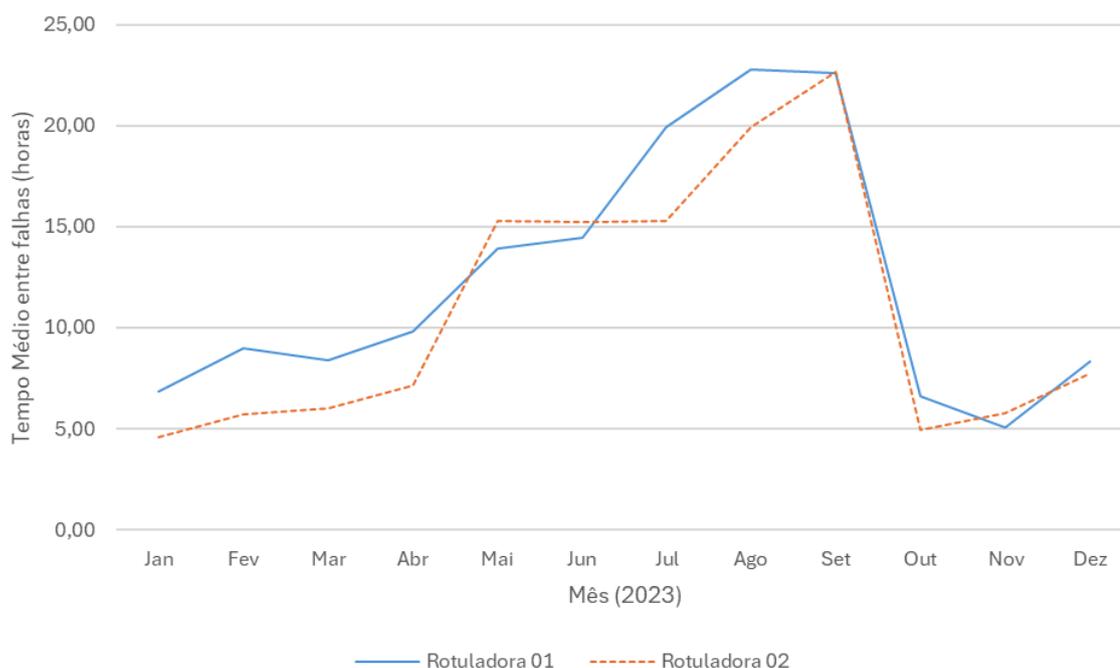
a quantidade de paradas diminuiu, principalmente as paradas oriundas das falhas de rotulagem, adicionalmente, com a implantação de rotinas bem definidas e com parâmetros claros de intervenção tornou-se explícito quando deveríamos parar para uma corretiva ou não nesse equipamento, aumentando a confiabilidade operacional. Podemos ver na Figura 6.8 o comportamento do MTBF na linha 502.



Fonte: Autor (2024).

Nos meses de outubro a dezembro, com o encerramento dos trabalhos e aumento do desgaste de alguns subconjuntos mostram retroação em ambas as linha e máquina, sugerindo que a rotina de acompanhamento por parte do time envolvido passou a falhar e também o aumento do desgaste dos subconjunto críticos, visto que as trocas periódicas não ocorreram conforme planejado, em especial na linha 502, que tinha desgastes severos em muitos subconjuntos e precisava de paletes de rótulo novas assim como na 503, mas devido a estratégia de redução de custo apenas as da 503 foram totalmente trocadas, e não seguiram com a troca na 502 uma vez que o projeto foi finalizado.

Figura 6.12 - Indicador MTBF para linha 503.



Fonte: Autor (2024).

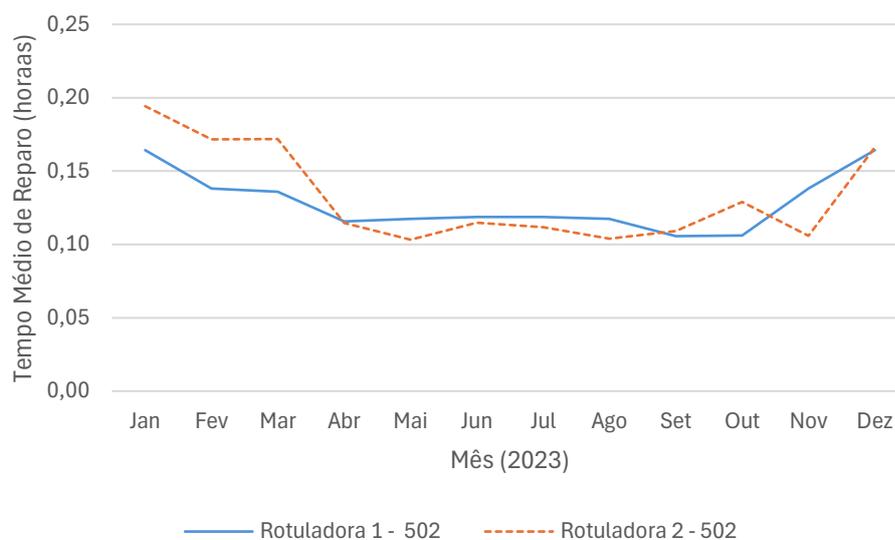
Outro ponto a ser destacado é que o atingimento de um MTBF superior a 24 horas sugere que a máquina permaneceu mais de um dia sem falhas. No entanto, o que ocorreu, na verdade, foi a antecipação de problemas. Com a definição de parâmetros objetivos, foi possível tomar decisões rápidas sobre se e quando parar para intervir, o que foi estrategicamente feito em paradas de oportunidade e programadas.

Dessa forma, mesmo com a máquina passando por mais de uma intervenção diária, essas paradas não aparecem ou não impactam negativamente nos indicadores de manutenção.

6.4.3 MTTR

O MTTR, por ser um indicador que reflete principalmente o tempo de reparo, foi aumentado, visto que a quantidade de ocorrências foi reduzida em certos casos, como nas paradas para limpeza do raspador de cola. O uso de menos cola implicou em menos sujeira e, portanto, na diminuição de ocorrências de limpeza, mesmo com o tempo de limpeza se mantendo o mesmo antes e depois das manutenções.

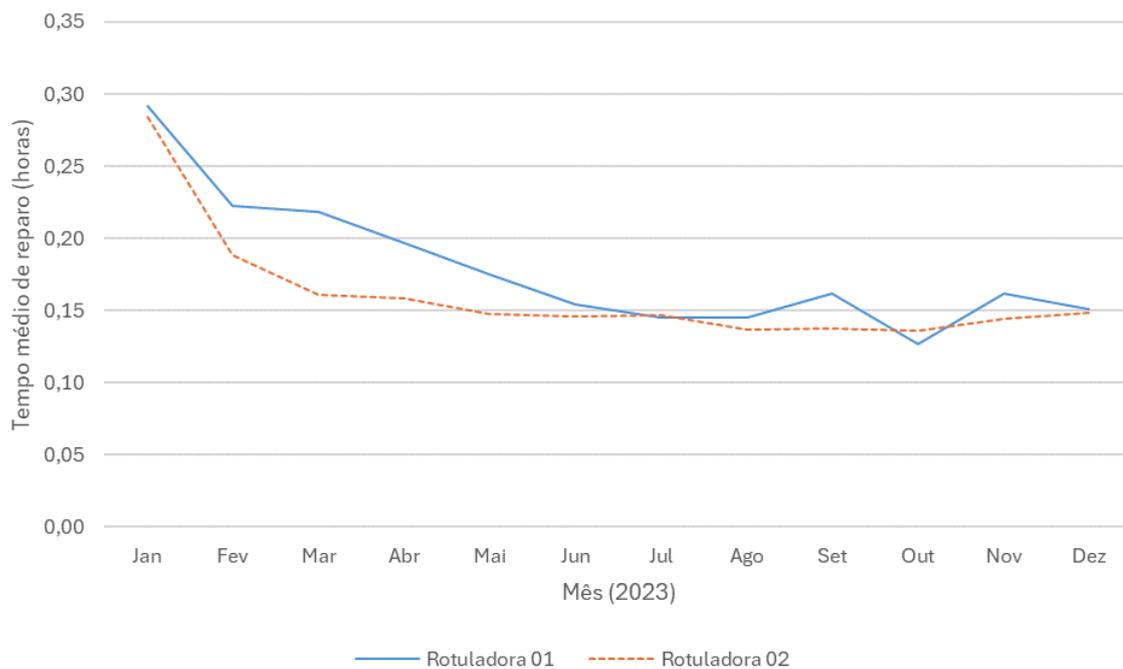
Figura 6.13 - Indicador MTTR para linha 502.



Fonte: Autor (2023)

Conforme pode ser visto na Figura 6.13, todas as máquinas apresentaram evolução no MTTR, cujas diferenças de resultado podem ser atribuídas a características operacionais de rotina, divergência de datas de execuções de atividades (mostrados na Quadro 6.1) e, também, ao estado inicial de desgaste dos subconjuntos no início do trabalho. Importante destacar, que como a maior parte das peças renovadas foi na 503, está foi a linha que mais evoluiu no indicador, conforme podemos ver na Figura 6.14, já a linha 502, durante os meses de junho e julho podemos ver uma certa estabilidade no indicador, pois nesse período, estávamos dentro do tempo de vida útil das peças de troca trimestral e semestral e não houve continuidade na troca dos subconjuntos sugeridos pelo autor, causando assim a estabilidade, sem evolução, do indicador.

Figura 6.14 - Indicador MTTR para linha 503.



Fonte: Autor (2024).

A queda contínua do MTTR mostra que as intervenções foram assertivas e bastante positivas para a performance dos equipamentos, com a diminuição do número de falhas, o MTTR diminuiu e a confiabilidade do equipamento aumentou e a médio e longo prazo sua vida útil.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou otimizar as rotuladoras Kronas, com foco na redução do consumo de cola. A análise de indicadores de manutenção, juntamente à revisão bibliográfica, fundamenta a importância de uma abordagem abrangente.

Ao estudar as falhas mecânicas associadas aos elementos rotativos das rotuladoras visando diminuir custo de produção, tem-se a oportunidade de potencializar o custo de produção, reduzindo o preço agregado do produto além de compreender o vínculo direto entre a manutenção mecânica, o desgaste mecânico e a manutenção preventiva, gerando resultados não só ligados a indicadores de manutenção, mas também à custo direto de produção. Também é possível entender de forma prática os conceitos de manutenção preventiva e a sua relação de causa e efeito com outros indicadores da produção além de MTTR e MTBF.

A redução do consumo de cola não apenas atende a objetivos econômicos, mas também considerações ambientais, qualidade do produto e segurança no trabalho, visto que se trata de composto químico.

Os resultados alcançados refletem uma melhoria de performance mecânica, redução no consumo de cola reduzindo custos e melhor compreensão das tarefas críticas do processo, para além das macroparas de linha, pensando de forma preventiva na manutenção do equipamento. Este estudo contribui não apenas para desafios específicos, mas para a compreensão global da gestão eficiente na indústria, demonstrando um esforço constante para aprimorar práticas industriais em busca de eficiência econômica e operacional.

Ao final deste projeto estabeleceu-se a adequada periodicidade de manutenção mecânica e caracterização das falhas e desgastes mecânicos associados ao processo que resultam no alto consumo de cola, melhorando a performance do equipamento e a rentabilidade do processo. Caracterizando as falhas mais recorrentes e utilizando o acompanhamento do indicador de custo para validar a performance do equipamento.

REFERÊNCIAS

ANHESINE, Marcelo Wilson. **Uma abordagem Sistêmica para diagnósticos em manutenção industrial**. 1999. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos SP, Brasil.

ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p.37. 1994.

ARCO-VERDE, Melquesedeque Melo. **Identificação de falhas em sistemas rotativos empregando técnicas não-lineares**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BARBOSA, A. L. **Redução de tempos de setup: aplicação de troca rápida de ferramentas em indústria de bebidas**. 2015. 45 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BAYER, Raymond J. **Mechanical Wear Fundamentals and Testing, revised and expanded**. CRC Press, 2004.

CHIQUETTI, TIAGO FRANÇOSO. **Análise de falhas em rolamentos de uma linha de envase de cerveja**. Orientador: José Benedito Marcomini. 2015. 46 p. Monografia (Graduação do Curso de Engenharia de Materiais - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo) - USP, [S. I.], 2015.

COGNARD, P. **Chapter 2 - Equipment for the Application of Adhesives and Sealants: Mixing, Metering, Coating or Applying the Adhesives**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874569506800138>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

CROMPTON, G. **Packaging machinery and line operations**. Packaging Technology. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2012. cap. 20, p. 490-537, ISBN 9781845696658.

INTHARAK, PHUTHIP et al. **OPTIMIZATION OF ROTARY TYPE LABELING MACHINE CONSIDERING MULTIPLE RESPONSES**. International Journal of Mechanical And Production Engineering, [S. l.], v. 3, n. 8, p. 145-149, 1 ago. 2015.

FERNANDES, Viviane Kettermann; MARTENDAL, Caroline Pereira. **Desgaste e os seus mecanismos 2017**. Disponível em: <<https://engenheirodemateriais.com.br/2017/11/03/desgaste-e-os-seus-mecanismos/>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

KRONES. **Flexa Unicol: Cold glue labelling machine - The classic labellers**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <https://docplayer.net/21211026-Krones-cold-glue-labellers-the-classic-labellers.html>. Acesso em: 1 nov. 2023.

KRONES. **Schulungshandbuch: Manual de Treinamento**. [S. l.: s. n.], 20--. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/schulungshandbuch-manual-de-treinamento-krones-academia-pdf-free.html> Acesso em: 19 nov. 2023.

KRONES. **Flexa Unicol: Cold glue labelling machine**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://www.kosme.com/media/downloads/Flexa_Unicol_EN.pdf. Acesso em: 1 nov. 2023.

MELO, G. A. P.; SIQUEIRA, E. W. M.; PALMA, D. L. M. **Análise das causas de paradas de máquinas em uma empresa produtora de garrafa PET de Campinas Grande PB**. In: XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 37, 2017, Joinville. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6852/material/0%20-%20Qualidade.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2023.

REIS, T. **Custo de produção: o que é e qual a importância desse custo?**. 2023. Disponível em: <<https://www.sunos.com.br/artigos/custo->

