



**Ludmilla Junia Rocha**

**A METODOLOGIA WCM APLICADA A INDÚSTRIA DE  
LINHA BRANCA COM FOCO NO PILAR DE MANUTENÇÃO  
AUTÔNOMA**

**LAVRAS - MG**

**2023**

**Ludmilla Junia Rocha**

**A METODOLOGIA WCM APLICADA A INDÚSTRIA DE  
LINHA BRANCA COM FOCO NO PILAR DE  
MANUTENÇÃO AUTÔNOMA**

*Trabalho de Conclusão de curso  
apresentado a Universidade  
Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Programa  
Curso de Graduação em  
Engenharia de Automação e  
Controle, para a obtenção do título  
de Bacharel.*

Prof. Dr. Cleber Carvalho de Castro (Orientador)

Prof. Dr. Vinícius Miranda Pacheco

Bacharel Artur Guedes Carvalho de Azevedo

**LAVRAS - MG**

**2023**

A minha mãe, meus familiares e amigos

## **AGRADECIMENTOS**

Começo minhas considerações agradecendo primeiro a Deus, por todo aprendizado e direção. Agradeço a todos os meus amigos que estiveram ao meu lado nessa jornada, em especial ao João, Igor e Filipe, sem vocês não estaria concluindo essa etapa tão importante. Agradeço à minha família, por ser meu alicerce nos momentos de dificuldade e desafios, Mila, Aninha e Felipe, vocês são minha vida, obrigada por acreditarem no meu potencial. Agradeço ao meu namorado Artur, por ser meu companheiro e nunca ter duvidado da minha capacidade. Por fim, agradeço ao meu orientador Cleber e ao professor Vinícius, por estarem sempre disponíveis e dispostos a me auxiliar nesses últimos períodos.

## RESUMO

Aumento de produtividade, redução de custos e expansão no mercado são os principais objetivos de qualquer empresa. Contudo trata-se de uma tarefa complexa e que demanda o uso de ferramentas gerenciais, sendo o WCM (*World Class Manufacture*) uma metodologia amplamente utilizada por empresas de nível global. Esta metodologia é dividida em diversos pilares. Dentre eles o *Autonomous Maintenance* (AM) apresenta grande influência no aumento de produção e na redução de custos de determinado equipamento. O objetivo do trabalho foi verificar a influência do pilar de Manutenção Autônoma em uma máquina perfiladora dentro de uma grande empresa do setor de linha branca, acompanhando os procedimentos de implementação do mesmo em um equipamento de uma grande empresa de produtos de linha branca. Tal implementação foi executada através da aplicação da metodologia 7 steps, com a utilização das ferramentas gerenciais 5W1H, matriz C, CIL-R calendar, matriz X, matriz QM e diagrama de Ishikawa. A medição da influência causada pela implementação deste pilar foi feita através da comparação do indicador OEE (*Overral Equipment Effectiveness*) inicial e final do equipamento, além do acompanhamento a mudança desse indicador ao final da implementação de cada passo da metodologia 7 steps. Com a aplicação desta metodologia foi possível observar uma melhora de 13 pontos percentuais no indicador do equipamento, além de que a produção do mesmo aumentou em 200 peças por dia. Também foi possível reduzir a frequência das manutenções, além de possibilitar a eliminação de um turno de funcionamento da máquina, o que resultou em uma redução de custos de 25% para a companhia. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e o equipamento em questão passou a ser considerado um modelo na unidade fabril, onde os procedimentos que foram aplicados no mesmo passaram a ser considerados referência para futuras implementações de novas máquinas.

*Palavras-chave: WCM; Autonomous Maintenance; Overral Equipment Effectiveness.*

## LISTAS DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Distribuição dos pilares da metodologia WCM.               | 14 |
| Figura 2 - Distribuição dos pilares da metodologia TPM.               | 14 |
| Figura 3 - Exemplo de matriz C utilizada.                             | 23 |
| Figura 4 – Localização das fontes de sujeira no equipamento.          | 24 |
| Figura 5 - Localização das fontes de sujeira no equipamento.          | 29 |
| Figura 6 – Ergonomia da atividade.                                    | 29 |
| Figura 7 – Rota percorrida pelo operador.                             | 30 |
| Figura 8 – Dados carta IMR.   | 32 |
| Figura 9 – Polia de crimpagem.  | 34 |
| Figura 10 – Comparação de resultados teste IMR.                       | 34 |
| Figura 11 – Matriz X.   | 36 |
| Figura 12 – Matriz QM.  | 36 |
| Figura 13 – Mapa do processo no equipamento.                          | 38 |
| Figura 14– Tempo ciclo por estação.                                   | 39 |
| Figura 15– Comparativo do antes e depois do tempo ciclo da estação 9. | 40 |
| Figura 16– OEE por etapa.   | 41 |

## **LISTAS DE QUADROS**

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Classificação das seis maiores perdas em relação ao OEE.         | 18 |
| Quadro 2 – Aplicação ferramenta 5W1H para os 3 focos de sujeira.            | 25 |
| Quadro 3 – Aplicação ferramenta 5W1H para os 3 focos de sujeira.            | 26 |
| Quadro 4 – 12 técnicas contra fontes de sujeira e locais de difícil acesso. | 27 |
| Quadro 5 – Respostas da ferramenta 5 Por quês.                              | 33 |
| Quadro 6 – Aplicação ferramenta 5W1H para análise de tempo ciclo.           | 37 |

## **LISTAS DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultados torques carta IMR. | 35 |
|--|----|

## SIMBOLOS E ABREVIATURAS

|      |  |
|------|--|
| AM   | Autonomous Maintenance                         |
| CIL  | Cleaning Inspection and lubrication            |
| CILR | Cleaning Inspection, lubrication and retighten |
| ECRS | Eliminate, combine, replace e simplify         |
| FPS  | Ford Production System                         |
| IMR  | Individual Move Range                          |
| JIT  | Just In Time                                   |
| OEE  | Overral Equipment Effectiveness                |
| PPA  | Process Point Analysis                         |
| QA   | Quality Maintenance                            |
| QPP  | Quantidade de produtos processados             |
| QPR  | Quantidade de produtos refugados               |
| TCU  | Tempo de ciclo unitário                        |
| TIE  | Total Industrial Engineering                   |
| TP   | Tempo em produção                              |
| TPM  | Total Productive Maintenance                   |
| TPnP | Tempo de parada não programada                 |
| TPP  | Tempo de parada programada                     |
| TPS  | Toyota Production System                       |
| TQC  | Total Quality Control                          |
| WCM  | World Class Manufacturing                      |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO  | 10 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA   | 12 |
| 2.1 WCM  | 12 |
| 2.1.1 Definição  | 12 |
| 2.1.2 TPM e sua estrutura  | 13 |
| 2.1.3 Pilar de AM  | 14 |
| 2.1.3.1 <i>Step</i> 1 (um) e 2 (dois)  | 15 |
| 2.1.3.2 <i>Step</i> 3 (três) e 4 (quatro)  | 16 |
| 2.1.3.3 <i>Step</i> 5 (cinco), 6 (seis) e 7 (sete)                                 | 17 |
| 2.2 Indicador <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE)                         | 17 |
| 3. METODOLOGIA   | 21 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO  | 23 |
| 4.1 <i>Step</i> 1 (um) – Limpeza inicial e inspeção                                | 23 |
| 4.2 <i>Step</i> 2 (dois) – Contramedidas para áreas mapeadas                       | 27 |
| 4.3 <i>Step</i> 3 – Padronização inicial   | 30 |
| 4.4 <i>Step</i> 4 – Inspeções gerais do equipamento                                | 31 |
| 4.4.1 PPA <i>step</i> 1 e 2 – Condição do equipamento: atual e restauração de base | 31 |
| 4.4.2 PPA <i>step</i> 3 e 4  | 32 |
| 4.4.3 PPA <i>step</i> 5, 6 e 7   | 33 |
| 4.5 <i>Step</i> 5 – Inspeções gerais do processo                                   | 37 |
| 5. CONCLUSÕES  | 42 |
| 6. REFERÊNCIAS   | 43 |

## 1.INTRODUÇÃO

A busca por destaque no mercado industrial e a necessidade de se tornarem mais competitivas neste mercado tem sido os principais motivadores para o desenvolvimento das indústrias. Tal desenvolvimento foi acelerado nos últimos anos, segundo Raposo (2011), as empresas e indústrias tem investido fortemente na medição da eficiência de seus processos, buscando eliminar perdas, aumentar a qualidade de suas operações, obter ganhos produtivos e não perder colocação no mercado.

A recente crise na economia, influenciada principalmente pela pandemia de Covid 19, fez emergir a importância de uma gestão cuidadosa tanto estratégica quanto operacional da cadeia de suprimentos. D’Orazio, Messina e Schiraldi (2020) apontam que a solução encontrada por empresas de atuação internacional foi um robusto investimento na metodologia WCM (*World Class Manufacturing*), visando identificar e eliminar perdas e desperdícios nos processos de manufatura, além de buscar zerar acidentes, falhas, rejeitos e estoque. Segundo Borges, Oliveira e Oliveira (2013) citam um dos maiores difusores do WCM como sendo o Dr.Hajime Yamashina, Professor Emeritus da Kyoto University.

Tal metodologia difundida por Yamashina é apontada por BOZAĞAÇ (2010) como sendo a evolução e crescimento de sistemas de manufatura predecessores, como o FPS (*Ford production System*), JIT (*Just In Time*) e TPS (*Toyota Production System*), com um dos principais objetivos sendo o crescimento do indicador *Overall Equipment Effectiveness* ou Eficácia Geral do Equipamento (OEE) dos sistemas de manufatura. Busso e Miyake (2013) ressaltam que tal indicador foi proposto por Nakajima em 1999 para medir a capacidade efetiva dos equipamentos.

Uma das características marcantes do WCM citadas por Parreiras et al. (2014) é a existência de 11 pilares técnicos, dentre estes, aquele que se destaca na observação e na evolução do OEE é conhecido por manutenção autônoma ou *Autonomous Maintenance* (AM).

O presente trabalho teve como objetivo verificar a influência da implementação do pilar de Manutenção Autônoma em uma máquina perfiladora dentro de uma grande empresa do setor de linha branca, através do estudo e

comparação do indicador de OEE após cada atividade realizada. A implementação deste pilar teve como finalidade obter uma melhora da *performance* do equipamento, desta forma reduzindo os gastos da empresa com quebras e manutenções, aumentando conseqüentemente, o seu rendimento, dentre outros fatores.

## 2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 WCM

#### 2.1.1 Definição

O termo *World Class Manufacturing* (WCM) ou Manufatura de Classe Mundial surgiu no ano de 1984. Segundo Araki Junior (2016) tal termo foi primeiramente utilizado por Wheelwright e Hayes para caracterizar o *know-how* das empresas alemãs e japonesas que buscaram colocação no mercado mundial de exportação. Borges, Oliveira e Oliveira(2013) destacam que, em 1986, Schonberger aplicou a mesma nomenclatura, porém de maneira mais incisiva, afirmando que empresas que aplicassem as práticas de Qualidade Total e *Just-In-Time* (JIT) poderia abater seu *lead time* e elevar o fabricante a um nível de excelência operacional.

Araujo e Pereira (2000) apontam que práticas gerenciais das operações fabris contribuem para o nível de excelência obtido pelo fabricante e também apresentam vantagens competitivas. O agrupamento de técnicas gerenciais, juntamente com princípios de redução de custo são apontados por Santos, Peretta e Lindgreen (2017) como partes fundamentais da metodologia WCM.

O nível de excelência do fabricante pode ser classificado por meio de um sistema de *ranking*. Borges, Oliveira e Oliveira (2013) relatam que o processo de avaliação ocorre semestralmente, sendo executado por auditores externos que pontuam a unidade fabril de zero a cem e os pilares técnicos e gerenciais em uma escala de zero a cinco. No fim deste processo, a unidade fabril pode ser classificada dentro desta estrutura organizacional como: bronze, prata ou ouro.

Tal metodologia é definida por D’Orazio, Messina e Schiraldi (2020) como sendo focada em excelência operacional e tendo sido baseada na metodologia *Lean Production* (ou *Lean Manufacturing*), a qual é caracterizada pela busca da eliminação de desperdícios e maximização da relação entre custo e valor. Devido a essa conexão, Araki Junior (2016) afirma que o WCM se baseia nos conceitos *Total Quality Control* (TQC), *Total Productive Maintenance* (TPM), *Total Industrial Engineering* (TIE) e *Just in Time* (JIT), provenientes da metodologia *Lean*.

### 2.1.2 TPM e sua estrutura

Os quatro conceitos citados na seção 2.1.1 formam as bases do WCM, cada um possuindo subdivisões e ferramentas com diferentes abordagens que contribuem para o desenvolvimento da companhia. San Martin, Oliveira e Veroneze (2022) citam que um dos fatores-chaves para o desenvolvimento da TPM (*Total Productive Maintenance*) foi a percepção de que os “componentes” essenciais para prevenir quebras de máquina e paradas de linha são os operadores de máquinas e processos.

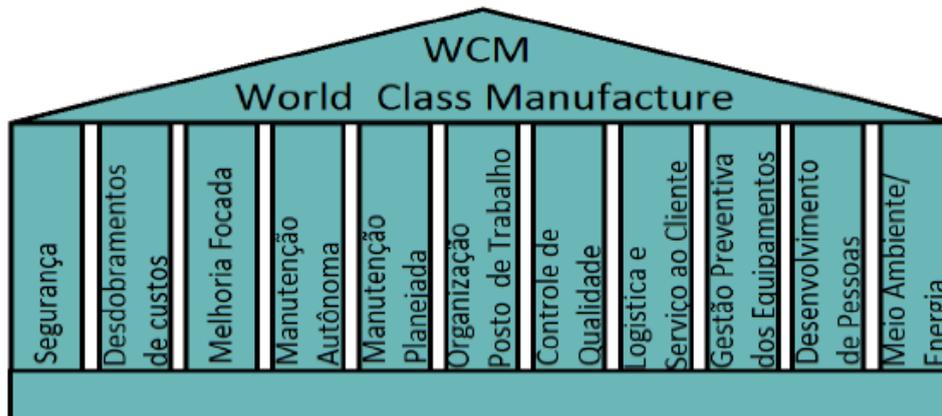
Krummenauer e Nunes (2017) salientam que a TPM foi desenvolvida no Japão com o objetivo de alcançar o conceito zero em diversos critérios, sendo eles: falha e quebra das máquinas, defeitos no produto e perdas no processo produtivo. Esses objetivos só são tangíveis com a participação ativa dos operadores e manutentores. San Martin, Oliveira e Veroneze (2022) afirmam que, diferente dos times gerenciais, operadores e manutentores possuem maior contato com o maquinário, podendo assim sinalizar irregularidades de funcionamento e necessidade de manutenções de maior complexidade.

Com isso, a manutenção passou a ser reconhecida como um dos itens essenciais para o alcance da excelência fabril em nível mundial. Contudo, é importante ressaltar que se trata de uma área de estudo ampla e com diversas vertentes e metodologias. A manutenção, segundo Santos, Peretta e Lindgreen (2017) pode ser dividida em três tipos: manutenção corretiva (restauração da condição de base após a quebra), preditiva (antecipar e encontrar a raiz do problema de um equipamento) ou preventiva (prevenir a ocorrência de falhas através de manutenções programadas).

A TPM é apontada por Krummenauer e Nunes (2017) como fortemente influenciada pela manutenção preditiva, focada em reduzir paradas devido a falha do equipamento e reprimir o impacto no rendimento do equipamento. Cortez et al. (2010) afirmam que a metodologia WCM passou por diversas modificações até chegar ao seu formato mais tradicional, contando com 10 pilares gerenciais e técnicos. Por fazer parte da WCM, a TPM é apoiada por tais pilares. Entretanto, diversas empresas adotam modelos com uma quantidade maior ou menor de pilares.

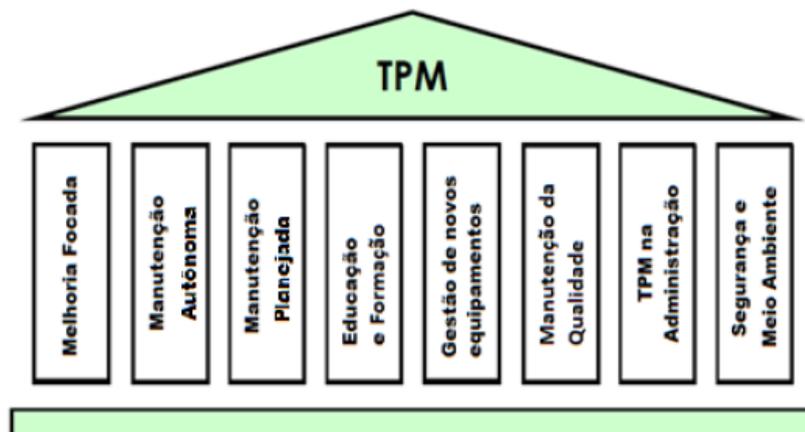
Parreiras et al. (2014) apresentam um modelo composto por 11 pilares na metodologia WCM, quantidade presente na visão do Dr. Hajime Yamashina, conforme exemplificado na Figura 1, enquanto San Martin, Oliveira e Veroneze (2022) apresentam a distribuição de 8 pilares para a metodologia TPM conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 1 - Distribuição dos pilares da metodologia WCM.



Fonte: PARREIRAS et al, 2014.

Figura 2 - Distribuição dos pilares da metodologia TPM.



Fonte: San Martin, Oliveira e Veroneze, 2022.

### **2.1.3 Pilar de AM**

O pilar de AM (*Autonomous Maintenance*) da metodologia TPM, segundo D’Orazio, Messina e Schiraldi (2020), possui uma forte relação operador/máquina/ambiente de trabalho, onde o envolvimento do operador é de extrema importância. San Martin, Oliveira e Veroneze (2022) complementa afirmando que essa relação é a de “sentimento de dono” que o operador tem pela máquina e pela tarefa que lhe foi atribuída.

Para Krummenauer e Nunes (2017) este pilar consiste no treinamento e na capacitação dos operadores, para que estes passem a zelar pelo equipamento, de forma que possam realizar pequenas inspeções no mesmo e detectar problemas precocemente e assim informar os manutentores antes da falha total. Desta forma ocorre uma diminuição do número de paradas de linha e também permite que a equipe de manutenção tenha mais tempo disponível para outras atividades mais urgentes.

A contribuição para a redução de paradas de linha se deve a importância atribuída às atividades básicas de manutenção preventiva. D’Orazio, Messina e Schiraldi (2020) classificam estas atividades como: limpeza, inspeções, procedimentos de checagem, desmontagens, reparações e reparos simples, visto que todas elas contribuem para a manutenção da condição de base do equipamento por um período mais prolongado.

A implementação deste pilar em qualquer parte de uma indústria acontece através de uma ferramenta conhecida como *7 steps*, que posteriormente irão gerar um impacto no indicador conhecido como OEE.

Devido à complexidade do pilar de AM, Molenda (2016) ressalta que esta divisão e diversas etapas tem por objetivo facilitar e organizar a implementação do pilar, resultando em uma estruturação mais cuidadosa do mesmo e uma observação mais acuradas dos problemas presentes no setor ou equipamento.

#### **2.1.3.1 Step 1 (um) e 2 (dois)**

O primeiro passo apontado por Bozağaç (2010) é referente a limpeza e organização do equipamento e do local de trabalho, limpando diversos tipos de sujeiras e retirando partes danificadas das partes exterior e interior do equipamento. Pereira (2018) destaca que essas atividades de limpeza e inspeção abrangem

desde eliminação de pó e resíduos de vazamentos, até a lubrificação e aperto de parafusos soltos, além da identificação de outras anomalias.

Para executar os procedimentos necessários neste passo, primeiro é fundamental a utilização da ferramenta 5W1H. Stort e Lisboa (2022) mencionam que tal metodologia se iniciou no Japão, mas que se refere a cinco perguntas em inglês, sendo elas: *What* (o que); *Why* (por que); *Where* (onde); *When* (quando); *Who* (quem) e *How* (como). A utilidade desta ferramenta situa-se na simplicidade de sua aplicação e na eficiência em identificar o agente causador do problema estudado.

O passo 2 consiste na eliminação das fontes de contaminação e nas dificuldades de acesso em algumas partes do equipamento. Molenda (2016) estabelece que ao solucionar tais pontos a manutenção passará a ser mais rápida, menos frequente e o processo de limpeza será otimizado a ponto de proporcionar um incremento na quantidade de tempo útil do equipamento e do operador.

O tratamento destes problemas proporciona uma melhora nas condições de trabalho do operador. Dudek (2013) alega que a melhora de ergonomia do procedimento de limpeza proporciona aumento de produtividade, do controle de qualidade e reduz a incidência de erros gerados pelo fator humano.

#### **2.1.3.2 Step 3 (três) e 4 (quatro)**

O terceiro passo é baseado na definição de padrões que serão aplicados as etapas de limpeza e manutenção, com a periodicidade destas tarefas sendo programada (PEREIRA, 2018). Para Dudek (2013) tal padronização não se resume apenas à limpeza e manutenção, mas se estende para o aspecto logístico e tecnológico das operações.

Esta etapa também pode ser conhecida pela sigla CIL (*Cleaning Inspection and lubrication*) que define padrões a serem seguidos, juntamente com a metodologia ECRS, uma sigla originada das palavras em inglês *eliminate*, *combine*, *replace* e *simplify* (BOZAĞAÇ, 2010).

O quarto passo se trata da condução de inspeções do equipamento, atrelado a iniciativa de incrementar a consciência do operário sobre a atividade que ele executa. Dudek (2013) estabelece que este aumento de consciência previne ou

elimina potenciais ameaças através da aplicação diária de métodos considerados boas práticas.

Contudo, antes de se aplicarem as boas práticas, é necessário identificar o problema e restaurar a condição de base do equipamento. Molenda (2016) menciona que neste estágio os operadores serão instruídos sobre o funcionamento de componentes do equipamento e serão treinados com o auxílio de manuais criados anteriormente pela equipe de manutenção.

Após esta sequência de treinamentos, o operador estará apto a preencher uma série de *check lists* que serão utilizados para monitorar o equipamento e identificar precocemente a ocorrência de falhas (DUDEK, 2013). Dentre as ferramentas de *check list* e definição de periodicidade, pode-se citar a matriz X, a matriz QM e o CIL-R *Calendar*.

#### **2.1.3.3 Step 5 (cinco), 6 (seis) e 7 (sete)**

O quinto passo consiste na inspeção geral do processo e na sincronização com os passos anteriores, buscando balancear o tempo de duração que cada atividade produtiva (DUDEK, 2013). Nesta etapa, segundo Molenda (2016), os *check ups* que combinam todas as etapas desenvolvidas nos passos anteriores devem se tornar automáticos, de forma que possam ser realizados pelos operadores de forma autônoma.

O sexto passo consiste na padronização visual dos processos do local de trabalho. Essa padronização abrange desde os tópicos de limpeza e manutenção até os fluxos de materiais, os métodos de registro de dados e a administração de ferramentas (PEREIRA, 2018). Já o sétimo passo consiste em uma constante melhoria do que foi desenvolvido nos passos anteriores, investindo na capacitação do operador para que este possa ter um desenvolvimento melhor na execução de suas atividades (MOLEND, 2016).

## **2.2 Indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)**

Indicadores atuam como ferramentas para a avaliação de desempenho e eficiência de processos industriais. Raposo (2011) aponta que para este caso, eficiência pode ser definida como a atenuação ou a completa suspensão das

operações que não agregam valor ao produto final, sendo responsáveis por um incremento desnecessário ao custo de produção.

Dentre os vários indicadores que podem ser utilizados, o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é amplamente utilizado nas metodologias TPM e WCM. Busso e Miyake (2013) destacam que este é um indicador amplamente empregado para medir a efetividade do uso da capacidade dos equipamentos, sendo útil para o diagnóstico do sistema produtivo e direcionando a aplicação de ações para melhoria do processo.

Devido a extensa utilização global das metodologias WCM e TPM, consequentemente o indicador OEE tornou-se muito popular em uma escala global. Chandra, Chaturvedi e Kumar (2018) destacam que este indicador foi primeiramente apresentado por Nakajima e o seu cálculo se dá através do produto de três fatores base, relacionados com os seis maiores tipos de perdas, sendo estes fatores: *performance* operacional, disponibilidade do equipamento e qualidade dos produtos.

Dentre estes fatores, Chandra, Chaturvedi e Kumar (2018) definem que a “disponibilidade” indica os problemas e perdas causados pelos tempos de parada, “*performance*” é referente as perdas por velocidade de produção e “qualidade” representa as perdas geradas por retrabalho ou geração de sucata (*scrap*). A relação entre os tipos de perdas e os fatores base pode ser observada a seguir no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação das seis maiores perdas em relação ao OEE.

| <b>Seis Maiores Perdas</b> | <b>Fator OEE</b>   | <b>Categoria de perda do OEE</b>  |
|----------------------------|--------------------|---|
| Paradas por quebra         | Disponibilidade    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Falha do equipamento</li> <li>● Falha de componentes chaves</li> <li>● Manutenção não planejada</li> </ul>   |
| <i>Setup</i> e ajustes     | Disponibilidade    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Setup</i> do equipamento</li> <li>● Estoque de materia prima</li> <li>● Escassez de operadores</li> </ul> |
| Micro paradas              | <i>Performance</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Falhas do equipamento &lt;5 min</li> <li>● Queda de produtos</li> <li>● Bloqueios e obstruções</li> </ul>    |

|   |                    |   |
|---|--------------------|---|
| Perdas por velocidade de produção         | <i>Performance</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade de funcionamento abaixo da taxa esperada</li> <li>• Operador não treinado para acompanhar a velocidade padrão</li> <li>• Máquina lenta</li> </ul> |
| Rejeitos de produção                      | Qualidade          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Scrap</i></li> <li>• Retrabalho</li> <li>• Avarias durante produção</li> </ul>  |
| Rejeitos de produção ao iniciar a máquina | Qualidade          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Scrap</i></li> <li>• Retrabalho</li> <li>• Avarias durante produção</li> </ul>  |

Fonte: adaptado Chandra, Chaturvedi e Kumar, 2018.

O cálculo do OEE se dá através da Equação 1, contudo para isso é necessário calcular previamente os fatores que compõe esta formulação.

$$OEE(\%) = Disponibilidade(\%) \times Performance(\%) \times Quc \quad (1)$$

Onde:

OEE= *Overall Equipment Effectiveness*.

É dito por Raposo (2011) que a “Disponibilidade” leva em consideração paradas planejadas e não planejadas do equipamento, *setup* e demais necessidades de ajuste no equipamento que o impossibilitem de trabalhar. Seu cálculo pode ser obtido na Equação 2.

$$Disponibilidade = \frac{TPP - TPnP}{TPP} \quad (2)$$

Onde:

TPP= Tempo de parada programada.

TPnP= Tempo de parada não programada.

Já a *performance* é definida por Raposo (2011) como a responsável por considerar as perdas por velocidade de operação do equipamento, seja através do acréscimo no tempo necessário para cumprir uma etapa ou através de atrasos gerados por outras fontes. A Equação 3 mostra o cálculo da “*Performance*”.

$$Performance = \frac{TCU-QPP}{TP} \quad (3)$$

Onde:

TCU= Tempo de ciclo unitário.

QPP= Quantidade de produtos processados.

TP= Tempo em produção.

Por fim, Chandra, Chaturvedi e Kumar (2018) afirmam que a “Qualidade” leva em consideração o número de falhas no produto, geradas durante o processo produtivo e que acabam por inviabilizar a comercialização deste produto. A Equação 4 mostra o cálculo da “Qualidade”.

$$Qualidade = \frac{QPP-QPR}{QPP} \quad (3)$$

Onde:

QPP= Quantidade de produtos processados.

QPR= Quantidade de produtos refugados.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em uma grande empresa de produtos de linha branca, com o intuito de analisar a influência da implementação do pilar de AM em uma máquina perfiladora. Tal influência foi avaliada através da observação da mudança do OEE do equipamento selecionado, mudança causada pela aplicação dos passos fundamentais para a implementação do pilar AM no contexto da metodologia WCM. Este estudo foi realizado no período de abril de 2021 a dezembro de 2022.

O primeiro passo, ou *step 1*, consistiu na limpeza e inspeção do equipamento, no levantamento de dados e características do mesmo através, com o intuito de armazenar tais dados para posterior análise da influência da implementação da metodologia *7 steps*. Neste passo também houve a utilização da ferramenta 5W1H e do *datasheet* do equipamento, juntamente com a utilização de uma matriz C; além do mapeamento de fontes de sujeira, locais de difícil acesso no equipamento e o desenvolvimento de um calendário CIL-R temporário.

Já no *step 2*, foram utilizados os dados dos mapeamentos realizados no passo anterior e as regiões de não conformidade de sujeira e locais de difícil acesso foram tratadas. O *step 3* teve como foco a redução do tempo de locomoção para a realização das atividades de limpeza, através da delimitação de um caminho a ser seguido pelo operador e pela aplicação da ferramenta ECRS.

Em seguida, no *step 4*, o ponto principal foi a resolução de problemas de qualidade nos produtos produzidos pela perfiladora analisada. Inicialmente, foram coletados dados de problemas de qualidade nos produtos produzidos, para, em seguida, serem implementados projetos com o objetivo de eliminar tais problemas.

Por fim, o *step 5* teve como enfoque a análise do tempo de ciclo do equipamento. A abordagem para este caso consistiu no levantamento de oportunidades para redução deste tempo através do mapeamento das etapas do processo e do tempo de cada atividade individual do ciclo. Posteriormente, foram aplicadas mudanças na programação do equipamento de forma a reduzir o tempo gasto pelo mesmo em cada etapa do ciclo e assim aumentar a sua eficiência.

Ao final de cada passo, o OEE do equipamento era novamente calculado e seu valor armazenado, para que posteriormente fosse realizada uma comparação de melhoria no OEE e a influência que cada *step* teve neste resultado.

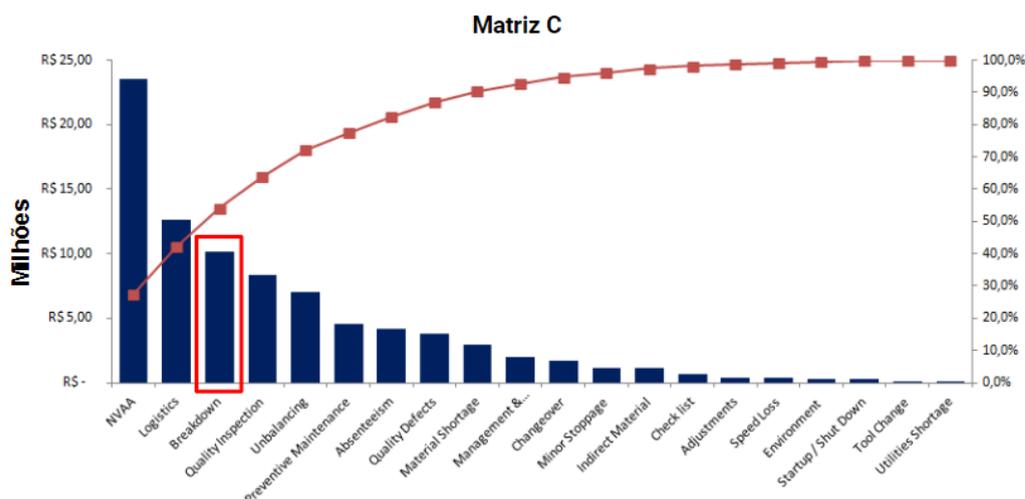
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho contempla a implementação do pilar de AM aplicando a metodologia 7 steps. Contudo, tal metodologia foi interrompida no step 5 devido a mudança observada no OEE do equipamento, gerada pelos passos executados até o momento. Alguns dados puderam apenas ser compartilhados em forma de porcentagem por serem informações de natureza sensível.

### 4.1 Step 1 (um) – Limpeza inicial e inspeção

Os dados em questão foram indicadores de desempenho do equipamento, custo anual de manutenção, OEE inicial de 78% e quantidades de quebras por falta de condições de base. Este levantamento foi executado utilizando-se uma matriz C, a qual foi alimentada com informações coletadas ao longo de 12 meses, a Figura 3 a seguir exemplifica a matriz C utilizada.

Figura 3 - Exemplo de matriz C utilizada.



Fonte: Autora.

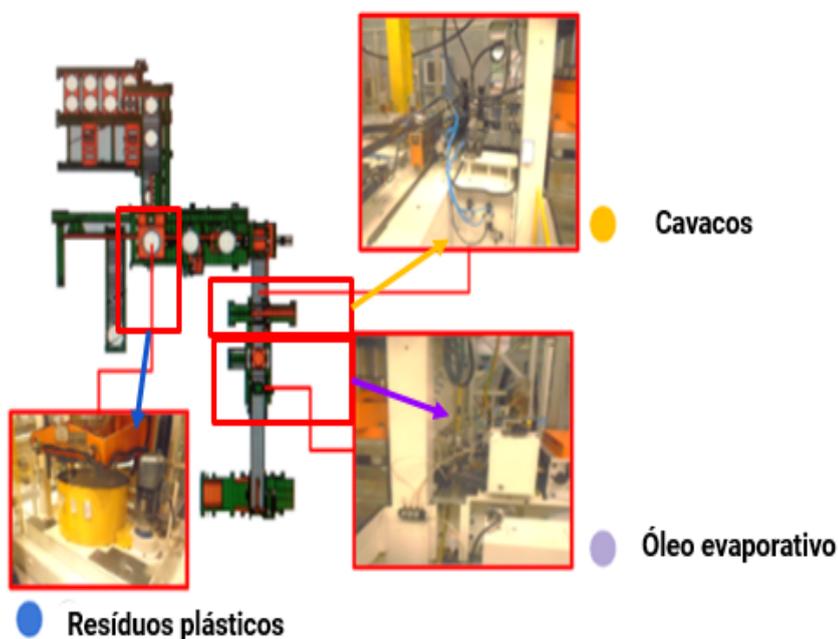
Em seguida foram coletadas informações técnicas sobre a máquina e seu uso, com auxílio da leitura de seu *datasheet* (conjunto de especificações técnicas do equipamento). Com isso, foram obtidos o histórico de construção do equipamento, a programação da manutenção do equipamento e foi realizado um levantamento sobre

o funcionamento do equipamento. O levantamento mostrou que o equipamento funciona em quatro turnos, possuindo um tempo médio de ciclo de 25 segundos e é manuseado por 3 operadores por turno.

Em seguida, foi feita uma limpeza inicial no equipamento, atividade na qual participaram 13 funcionários durante 2 dias. Ao final desta operação, foram recolhidos do solo 102 litros de óleo proveniente de vazamentos no equipamento, além de 215 quilos de material contaminado extraído do interior do maquinário.

A etapa seguinte foi a realização do mapeamento de fontes de sujeira. Para isto foi utilizada a ferramenta 5W1H, que possibilitou encontrar 3 (três) pontos fontes de sujeira, nos quais a mesma ferramenta foi aplicada. A Figura 4 mostra as fontes de sujeira identificadas e o Quadro 2 apresenta as perguntas respondidas da ferramenta 5W1H.

Figura 4 – Localização das fontes de sujeira no equipamento.



Fonte: Autora.

Quadro 2 – Aplicação ferramenta 5W1H para os 3 focos de sujeira.

| <b>Focos de sujeira</b> | <b>Perguntas</b> | <b>Respostas</b>  |
|-------------------------|------------------|---|
| Resíduos Plásticos      | • <i>What</i>    | • Desperdício de plástico na produção.  |
|                         | • <i>When</i>    | • Ao fazer a crimpagem do cesto no fundo.   |
|                         | • <i>Where</i>   | • Estação de recolagem.   |
|                         | • <i>Who</i>     | • Operador não contribui para a falha.  |
|                         | • <i>Why</i>     | • Ocorre em todos os ciclos do equipamento.   |
|                         | • <i>How</i>     | • Acumulo de plástico devido a fricção insuficiente aplicada pela ferramenta no fundo do cesto. |
| Cavacos                 | • <i>What</i>    | • Acumulo de partículas metálicas.  |
|                         | • <i>When</i>    | • No processo de conformação do prato.  |
|                         | • <i>Where</i>   | • Estação de estampagem   |
|                         | • <i>Who</i>     | • Operador não contribui para a falha.  |
|                         | • <i>Why</i>     | • Ocorre em todos os ciclos do equipamento.   |
|                         | • <i>How</i>     | • Durante o processo de furação do prato, partículas metálicas se acumulam no equipamento.      |
| Óleo evaporativo        | • <i>What</i>    | • Contaminação de óleo na prensa.   |
|                         | • <i>When</i>    | • Durante processo de lubrificação do prato.  |
|                         | • <i>Where</i>   | • Estação de lubrificação do prato.   |
|                         | • <i>Who</i>     | • Operador não contribui para a falha.  |
|                         | • <i>Why</i>     | • Ocorre em todos os ciclos do equipamento.   |
|                         | • <i>How</i>     | • Durante lubrificação do prato ocorre acumulo de óleo na estação, contaminando o equipamento.  |

Fonte: Autora.

Em seguida, foram mapeados os locais de difícil acesso no equipamento utilizando-se a mesma ferramenta, tendo sido identificados dois pontos ao fim do processo. O Quadro 3 apresenta as respostas dadas para a ferramenta 5W1H durante o mapeamento destes locais.

Quadro 3 – Aplicação ferramenta 5W1H para os 3 focos de sujeira.

| <b>Focos de sujeira</b> | <b>Perguntas</b> | <b>Respostas</b>  |
|-------------------------|------------------|---|
| Baía transportadora     | • <i>What</i>    | • Dificuldade de acesso para limpeza, local muito baixo.  |
|                         | • <i>When</i>    | • Durante execução do calendário CILR.  |
|                         | • <i>Where</i>   | • <i>Conveyor Belt</i>  |
|                         | • <i>Who</i>     | • Operador não contribui para a falha.  |
|                         | • <i>Why</i>     | • Ocorre em todos os ciclos do equipamento.   |
|                         | • <i>How</i>     | • Acumulo de plástico devido a fricção insuficiente aplicada pela ferramenta no fundo do cesto. |
| Resíduos Plásticos      | • <i>What</i>    | • Dificuldade de acesso para limpeza, local muito baixo.  |
|                         | • <i>When</i>    | • Durante execução do calendário CILR provisório.   |
|                         | • <i>Where</i>   | • Resíduos plásticos  |
|                         | • <i>Who</i>     | • Operador não contribui para a falha.  |
|                         | • <i>Why</i>     | • Ocorre em todos os ciclos do equipamento.   |
|                         | • <i>How</i>     | • Durante o processo de furação do prato, partículas metálicas se acumulam no equipamento.      |

Fonte: Autora.

Ao final do *step 1* foi possível observar uma redução de 63% nas quebras do equipamento devido à falta de condição de base, também foi possível observar que o indicador OEE do equipamento sofreu um acréscimo de 5 pontos percentuais e passou a ser de 83%. Tal mudança observada no OEE se deve ao fato de que após as atividades executadas o equipamento apresenta uma maior “disponibilidade”, desta forma este fator passou a ter uma maior contribuição no cálculo do indicador.

As atividades de limpeza e restauração da condição de base do equipamento resultaram em um melhor funcionamento do mesmo, com menos quebras e conseqüentemente houve uma redução no número de chamadas para o time de manutenção.

#### 4.2 Step 2 (dois) – Contramedidas para áreas mapeadas

No *step* 2, o foco foi a resolução das não conformidades das áreas mapeadas. Para isso, foi utilizado um conjunto de boas práticas conhecido como “12 técnicas contra fontes de sujeira e locais de difícil acesso”. Para tal primeiro foi necessário definir o que são os fatores que classificam uma fonte de sujeira e um local de difícil acesso.

São consideradas fontes de sujeira todas as etapas do processo que acabam por gerar resíduos, sendo proveniente do produto fabricado ou de produtos utilizados em sua fabricação. É importante ressaltar que vazamentos devido à falta de condição de base não entram nesta categoria. Já locais de difícil acesso normalmente remetem a áreas do equipamento que apresentam certa complexidade para serem limpas, tal complexidade de acesso está fortemente ligada a um esforço ergonômico. O Quadro 4 apresenta a ferramenta de combate contra fontes de sujeiras.

Quadro 4 – 12 técnicas contra fontes de sujeira e locais de difícil acesso.

| Nº do passo | Nomenclatura               | Definição   |
|-------------|----------------------------|---|
| 1           | Remover                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar alternativas para eliminar sistematicamente a fonte de Sujeira.</li> </ul>                              |
| 2           | Fechar/vedar               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fechar aberturas e frestas que possibilitam que a sujeira entre nas áreas mais fundas do equipamento.</li> </ul> |
| 3           | Bloquear                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar meios de conter a sujeira em um só lugar.</li> </ul>  |
| 4           | Guiar                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criar caminhos para que a sujeira não se acumule no interior do equipamento.</li> </ul>                          |
| 5           | Usar proteções localizadas | <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar proteções para impossibilitar entrada de partículas do ambiente no equipamento.</li> </ul>              |
| 6           | Ocupar espaços vazios      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ocupar com proteções locais onde facilitam o acúmulo de sujeira.</li> </ul>                                      |

|    |                                      |   |
|----|--------------------------------------|---|
| 7  | Aspirar                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilizar dispositivos para retirar o acúmulo de sujeira sem que seja necessário parar o equipamento.</li> <li>● EX: Colocação de um aspirador com timer em uma esteira.</li> </ul> |
| 8  | Utilizar ar comprimido               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilizar pressão positiva contínua ou intermitente para expulsar a sujeira gerada.</li> </ul>  |
| 9  | Sucção a vácuo                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilizar pressão negativa constante para puxar impurezas de um local de acúmulo de sujeira</li> </ul>  |
| 10 | Aplicar pressão positiva ou negativa | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilizar pressão pneumática para criar barreiras de contenção.</li> </ul>  |
| 11 | Instalar cortinas                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilizar proteções moveis para impossibilitar que partículas do ambiente entrem no equipamento, porém que possibilitem acesso para troca rápida de material.</li> </ul>            |
| 12 | Instalar deonizadores                | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilizar tecnologia para descarregar materiais e fazer com que estes criem uma barreira que impossibilita o acúmulo de sujeira.</li> </ul>   |

Fonte: Autora.

A primeira contramedida aplicada para a resolução dos pontos mapeados foi a retirada de todos os 6 parafusos que faziam a fixação da peça “rebordadeira do fundo do cesto”. Estes foram substituídos por dobradiças que permitiam abrir a rebordadeira com mais facilidade e o travamento desta nova parte móvel passou a ser realizado com pinos.

Esta mudança resultou em uma redução de 80% no tempo de manutenção e limpeza da rebordadeira, visto que após a alteração os operadores não necessitavam mais retirar todos os parafusos para limpar esta parte do equipamento e em seguida colocar todos novamente no lugar. A Figura 5 mostra o antes e depois da solução aplicada.

Figura 5 - Localização das fontes de sujeira no equipamento.



Fonte: Autora.

A próxima contramedida aplicada abordou a “dificuldade de acesso”. Desta vez, a solução aplicada consistiu na instalação de um piso de metal mais elevado, que impede que a sujeira caia em um local de difícil acesso, possibilitando que o operador pudesse ficar em pé e varrer o piso de metal sem precisar se abaixar sobre o equipamento.

Com isso, foi possível observar uma redução de 84% no tempo da atividade de limpeza, além da eliminação do risco ergonômico ao qual o operador estava sujeito, onde anteriormente o mesmo podia colidir com alguma parte do equipamento ou se cortar durante a atividade. A Figura 6 demonstra a melhora na ergonomia da atividade após a aplicação da solução.

Figura 6 – Ergonomia da atividade.

| ANTES   |   | DEPOIS   |  |
|---|---|--|--|
| Level 1   | Level 2   | Level 3  |  |
| more than 45°   | 15°-45°   | 0°-15°   |  |
|  |  |  |  |

Fonte: Autora

Ao fim do *step 2* foi possível observar uma redução da necessidade de atividades e limpeza e inspeção, uma redução de 90% no tempo mensal utilizado

para limpeza, uma redução no número de quebras do equipamento e um ganho de 2 pontos percentuais no indicador OEE. Novamente, o ganho observado no indicador está atrelado ao fator "disponibilidade", pois o equipamento passa a estar menos tempo parado para as atividades de limpeza e manutenção.

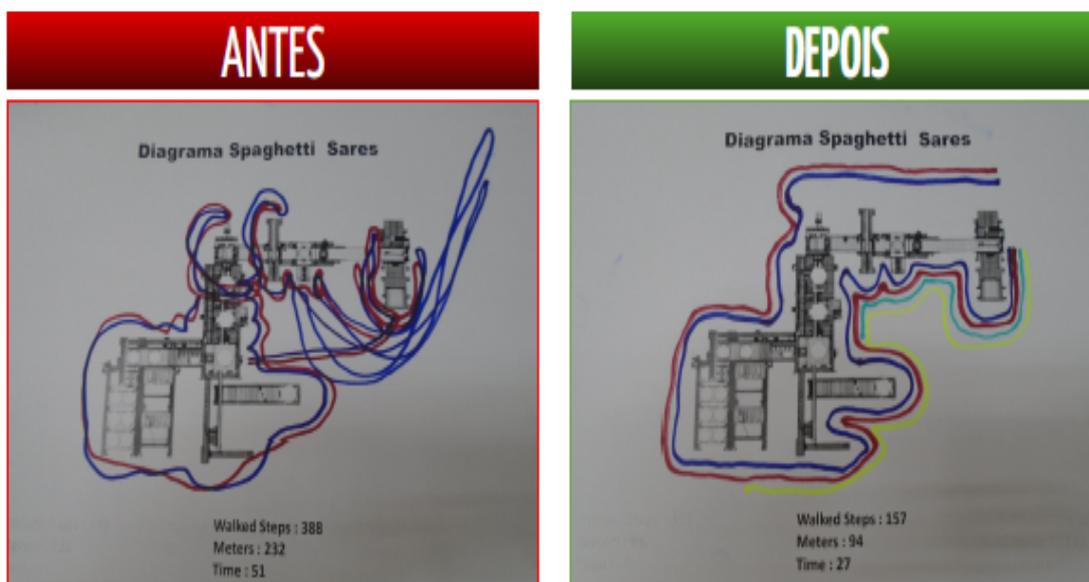
### 4.3 Step 3 – Padronização inicial

O *step 3*, por sua vez, foi focado em estabelecer padrões para agilizar a execução das tarefas realizadas pelos operadores. O primeiro padrão estabelecido foi a adoção de rotas fixas que o operador deveria percorrer durante suas atividades, de forma a otimizar o tempo consumido e a distância percorrida.

Para isto, foi utilizado um diagrama de spaghetti, que permite visualizar o caminho executado pelo operador e a partir disso organizar uma nova rota otimizada. Após a implementação deste diagrama, houve uma redução de 231 passos dados pelo operador, isso é o equivalente a uma redução de 138 metros percorridos e que resulta em um deslocamento 24 minutos mais rápido.

Antes da aplicação deste diagrama o operador, durante suas atividades, dava 388 passos, que era o equivalente 232 metros e que durava 51 minutos. A Figura 7 mostra o caminho percorrido pelo operador antes e depois da aplicação do diagrama de spaghetti.

Figura 7 – Rota percorrida pelo operador.



Fonte: Autora

Em seguida, com o objetivo de facilitar o procedimento de aferição da pressão, aplicou-se a metodologia ECRS. Antes de sua aplicação, o operador necessitava parar o equipamento, chamar um manutentor para poder aferir a pressão dos cilindros do maquinário utilizando um manômetro e novamente ligar o equipamento.

Após a aplicação da metodologia, esta atividade foi retirada do manutentor através da instalação de manômetros fixos em cada cilindro do equipamento. Os mostradores desses manômetros foram colocados no mesmo quadro (fora do equipamento). Desta forma permitindo ao operador aferir as pressões sem necessitar parar o maquinário e chamar um manutentor.

Com estas alterações, o tempo em que o equipamento permanecia parado foi reduzido em 93% e a quantidade de atividades de parada e religamento do mesmo também sofreu uma redução de 89%. Com isso, foi possível observar uma redução de 10% no número de atividades de limpeza e manutenção, desta forma permitindo que fosse estabelecido um CILR calendar definitivo.

Ao final deste *step*, foi possível perceber que o OEE do equipamento sofreu um incremento de 3 pontos percentuais, devido à maior “disponibilidade” do equipamento. Já ao fazer um comparativo com os dados obtidos antes da aplicação da metodologia 7 (sete) *steps*, o tempo de limpeza sofreu uma redução total de 92,4% e a ocorrência de quebras do equipamento sofreu uma redução de 93%.

#### **4.4 Step 4 – Inspeções gerais do equipamento**

O *step* 4 além de buscar o conceito de falha zero do equipamento, também busca alcançar zero defeitos de qualidade devido ao equipamento. Ao observar os fatores que alteram o OEE voltados para qualidade, aquele que é tratável pelo pilar de AM era “máquina”, com isso se fez necessário o uso da ferramenta de análise de problemas PPA (*Process Point Analysis*), que também consiste na aplicação de 7 *steps*.

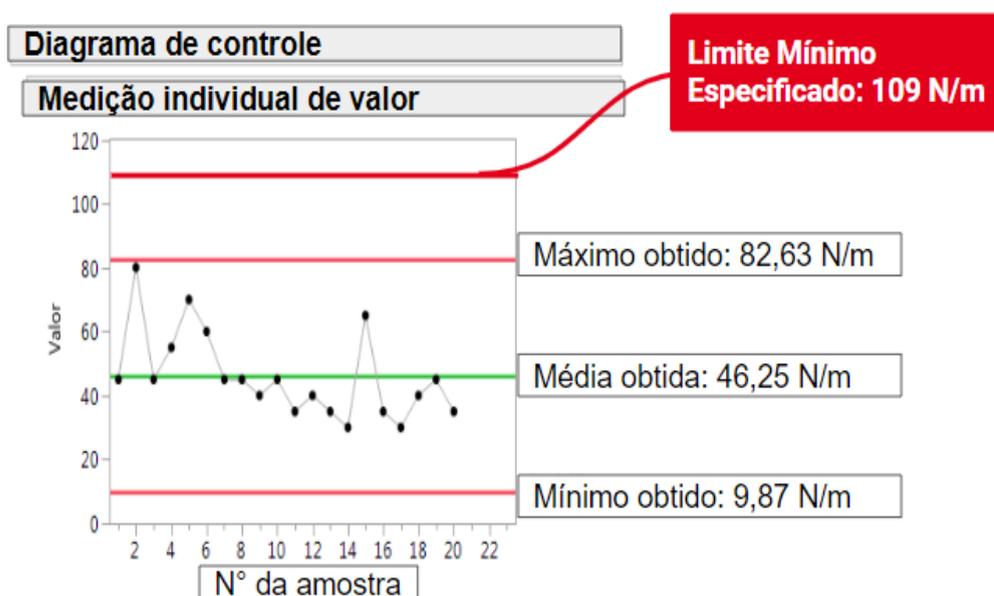
##### **4.4.1 PPA *step* 1 e 2 – Condição do equipamento: atual e restauração de base**

Nesta etapa, o primeiro passo foi buscar nos 4M (*Machine, Man, Method, Matherial*) o responsável pelo problema de qualidade nos produtos. Ao fazer tal

análise, percebeu-se que o responsável era a máquina e a partir daí medidas para solucionar esta influência foram aplicadas.

Em seguida, foi feita uma carta IMR (*Individual Move Range* ou Alcance Movel Individual) para analisar a força atual de torque do fundo do cesto. Esta carta consiste na coleta de dados de amostras sequenciais, onde cada amostra é testada e o resultado é armazenado. Com isso, foi possível perceber que esta se encontrava abaixo do nível necessário (109 N/m). A Figura 8 mostra os resultados obtidos durante o primeiro teste de carta IMR.

Figura 8 – Dados carta IMR.



Fonte: Autora.

A diferença observada entre os valores obtidos e aquele especificado em projeto faz com que o produto passe a produzir muito barulho durante o seu funcionamento, resultando em reclamações por parte dos consumidores.

#### 4.4.2 PPA step 3 e 4

A próxima ação foi um mapeamento de todos os processos necessários para a obtenção do produto final, a fim de encontrar qual destes processos contribuía para a falha observada. Durante o mapeamento, foi possível observar que o processo de “crimpagem” era o responsável por induzir a falha no produto, processo que consiste na dobra do alumínio do cesto, de forma a prender o fundo ao cesto.

Após encontrar o processo responsável, se fez necessário identificar o fator responsável pelo erro observado. Para encontrar a causa raiz do problema foi utilizada a ferramenta “5 Por quês”, que consiste em estabelecer um problema alvo e em seguida perguntar “por quê” tal problema acontece, após obter a resposta, a pergunta é novamente aplicada e este procedimento se repete até que a pergunta tenha sido feita cinco vezes.

No caso deste trabalho, o problema alvo era “o torque de fixação do fundo do cesto está abaixo do especificado. O Quadro 5 apresenta as respostas obtidas após a aplicação da ferramenta.

Quadro 5 – Respostas da ferramenta 5 Por quês.

| Porque | Resposta   |
|--------|--|
| 1      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pois o fundo do cesto e a lateral não estão fixados de acordo com o especificado (abaixo de 109N/m).</li> </ul>                 |
| 2      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pois o processo de crimpagem não é eficiente.</li> </ul>  |
| 3      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pois o processo não atinge o número adequado de pontos de fixação (esperado &gt; 180, obtido 88).</li> </ul>                    |
| 4      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pois a polia de crimpagem não consegue atingir o número de pontos necessários.</li> </ul>                                       |
| 5      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pois a polia de crimpagem, durante a duração da atividade (17 segundos), consegue gerar apenas 90 pontos de fixação.</li> </ul> |

Fonte: Autora.

A causa raiz encontrada foi que o número de pontos de fixação gerados pela polia estava abaixo do mínimo especificado pelo projeto. A solução encontrada foi dobrar o número de pontos na polia responsáveis por gerar os pontos de fixação.

#### 4.4.3 PPA *step* 5, 6 e 7

Os *steps* 5 e 6 focam em aplicar as soluções levantadas e realizar a aferição de sua efetividade. A Figura 9 mostra a polia de crimpagem antes e depois da solução aplicada.

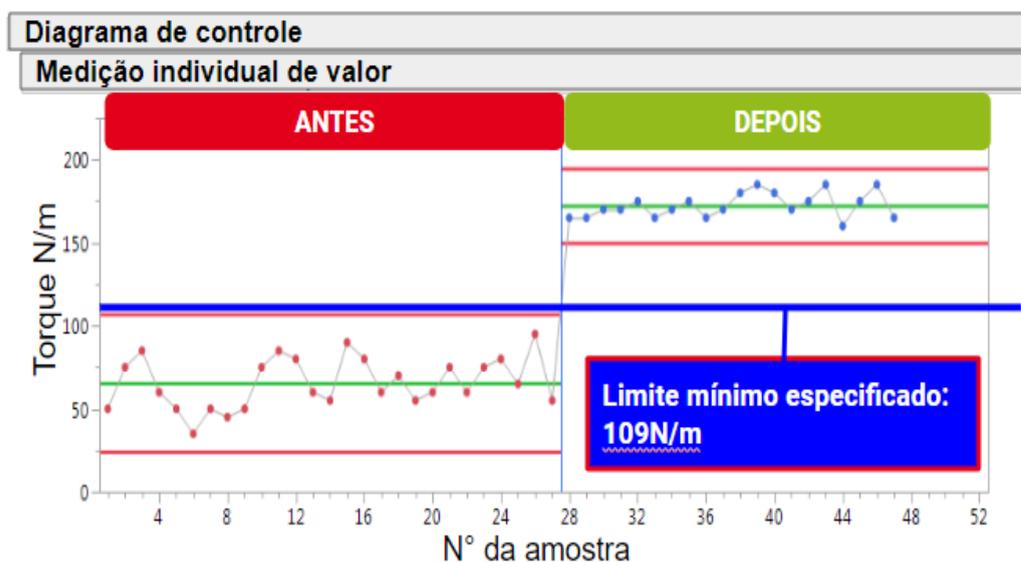
Figura 9 – Polia de crimpagem.



Fonte: Autora.

Em seguida, foi feita uma nova análise de resultados para verificar se a solução foi efetiva ou não. A Figura 10 mostra um comparativo dos resultados da carta IMR antes e depois da aplicação da solução, enquanto a Tabela 1 apresenta a comparação dos dados obtidos.

Figura 10 – Comparação de resultados teste IMR.



Fonte: Autora.

Tabela 1 - Resultados torques carta IMR.

| <b>Limite das fases</b> |                                |                               |                                |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>Fase</b>             | <b>Torque mínimo<br/>(N/m)</b> | <b>Torque médio<br/>(N/m)</b> | <b>Torque máximo<br/>(N/m)</b> |
| <b>Antes</b>            | 9,9                            | 46,3                          | 82,6                           |
| <b>Depois</b>           | 150,1                          | 172,5                         | 194,9                          |

Fonte: Autora.

Após a comparação dos torques obtidos, foi possível observar um aumento significativo após a aplicação da solução, de forma que o torque passou a sempre estar acima do mínimo especificado pelo projeto.

Já no *step 7* do PPA, são criados padrões para o operador seguir, de forma a possibilitar que o mesmo consiga manter o equipamento com as condições especificadas em projeto. Para isso são utilizadas ferramentas como a matriz X, matriz QM e o CILR *Calendar*.

O CILR *Calendar* pode ser definido como um *check list* de atividades, distribuídas ao longo do tempo, para guiar o operador, de forma que este saiba as etapas para cuidar do equipamento e crie responsabilidade com o mesmo. Já as matrizes X e QM atuam como ferramentas para uma manutenção prolongada do funcionamento correto do equipamento, de acordo com a visão de “Qualidade”.

A matriz X consiste em relacionar o modo de falha, com o fenômeno gerador desta falha, com o componente responsável e por fim com o parâmetro de funcionamento. Ao listar e correlacionar todos os itens citados acima, obtém-se uma distribuição em forma de “X” que facilita a compreensão de quais componentes podem causar determinadas falhas de qualidade e identificar quando não estiverem funcionando plenamente, facilitando a inspeção.

Por fim, a matriz QM serve como complemento para a matriz X, definindo quais as amplitudes dos parâmetros de funcionamento da máquina são aceitáveis, com qual frequência devem ser realizadas as manutenções dos componentes responsáveis por tais parâmetros, quem será o responsável por tal manutenção e

como deve ser executada. Nas Figuras 11 e 12 é possível observar exemplos de matriz X e matriz QM respectivamente.

Figura 11 – Matriz X.

| QUALITY MAINTENANCE   MATRIZ X                        |  |                     |   |                         |  |   |   |   |   |   |
|---|--|---------------------|---|-------------------------|--|---|---|---|---|---|
| Máquina: Perfiladora de Cestos Híbridos - SARES 90006 |  |                     |   |                         |  |   |   |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         | Roldanas groove Inferior   |   |   |   | X | X |
|   |  |                     |   |                         | Setor externo est. 140   |   | X |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         | Polias Rebordamento  |   | X |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         | Cilindro de nitrogenio do braço  | X   |   |   |   |   |
| X   | X                                      |                     |   |                         | Braço da calandra  | X   |   |   |   |   |
|   |  | X                   | X                                       |                         | Rolo de contrapressão da calandra  | X   |   |   |   |   |
| COMPONENTE  |  |                     |   |                         |  |   |   |   |   |   |
|   | Dois parafusos de trava 2 mm (exposto) | 3 Parafusos Fixados | Condições física do plastiprene do rolo | Pressão de avanço 3 bar |  |   |   |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         |  |   |   |   |   |   |
| FENÔMENO  |  |                     |   |                         |  |   |   |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         |  | Falha na conformação da costura             |   |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         |  | Falha na Limpagem entre Lateral e fundo     |   |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         |  | Aba da lateral fora do espec. (15mm +- 1mm) |   |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         |  | Lateral oval                                |   |   |   |   |
| MODO DE FALHA   |  |                     |   |                         |  |   |   |   |   |   |
| X   | X                                      | X                   | X                                       |                         |  | COSTURA ABERTA DA LATERAL                   | X |   |   |   |
|   |  |                     |   |                         |  | DEFORMAÇÃO REBORDAMENTO                     |   | X | X |   |
|   |  |                     |   |                         |  | BATIMENTO ALTO                              |   |   |   | X |
|   |  |                     |   |                         |  | FUNDO SOLTO                                 |   |   |   |   |

Fonte: Autora.

Figura 12 – Matriz QM.

| GRUPO DA MÁQUINA |                          |                                   |   |                     |   |                                 |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------|---|---------------------|---|---------------------------------|
| COMPONENTE       |                          | Rolo de contrapressão da calandra |   | Braço da calandra   |   | Cilindro de nitrogênio do braço |
| PADRÃO           | Parâmetro                | Pressão de avanço 3 bar           | Condições física do plastiprene do rolo | 3 Parafusos Fixados | Dois parafusos de trava da chapa 2 mm (exposto) |                                 |
|                  | Referência               | 3 bar                             | Estética                                | Visual              | Visual  | Max 150 bar                     |
|                  | Tolerância               | 3 á 4 bar                         | -                                       | -                   | -   | Setado 150 bar                  |
| VERIFICAÇÃO      | Ferramenta de medição    | Manômetro                         | Visual                                  | Chave Allen         | PNP Especial                                    | Manômetro                       |
|                  | Frequência               | 1x/turno                          | Preventiva                              | Preventiva          | Preventiva                                      | 6 meses                         |
|                  | Responsabilidade         | Operador                          | Operador                                | Operador            | Operador  | Ferramentaria                   |
|                  | Documentação padronizada | Cirl-R                            | Cirl-R                                  | Cirl-R              | Cirl-R  | Machine Leader                  |
| IMPACTO          | Q point                  | X                                 |   |                     |   |                                 |
|                  | Alto                     |                                   |   |                     |   |                                 |
|                  | Médio                    |                                   |   |                     | X   | X                               |
|                  | Baixo                    |                                   | X                                       | X                   |   |                                 |

Fonte: Autora.

Ao finalizar todos os *steps* do PPA, foi possível observar um ganho de 1 ponto percentual no indicador OEE, contudo, diferente dos *steps* anteriores, desta vez o ganho do indicador está relacionado com o fator “qualidade”, visto que quem foi impactada nesta etapa foi a qualidade final dos produtos produzidos por este equipamento, com o OEE total que passou de 88% para 89%.

#### 4.5 Step 5 – Inspeções gerais do processo

Diferente dos *steps* anteriores, este passo foca em abordar a *performance* do equipamento, buscando quais alterações podem ser realizadas de forma que resulte em uma melhora da *performance*. Para isto, as abordagens deste passo buscam reduzir o tempo ciclo do equipamento nas estações de gargalo, assim como reduzir tempo de setup.

Para analisar o tempo ciclo do equipamento, utilizou-se novamente a ferramenta 5W1H, com o objetivo de compreender mais a fundo o problema que estava impactando na *performance* e aumentando a média do tempo ciclo do equipamento. O Quadro 6 apresenta a aplicação da ferramenta e as respostas obtidas.

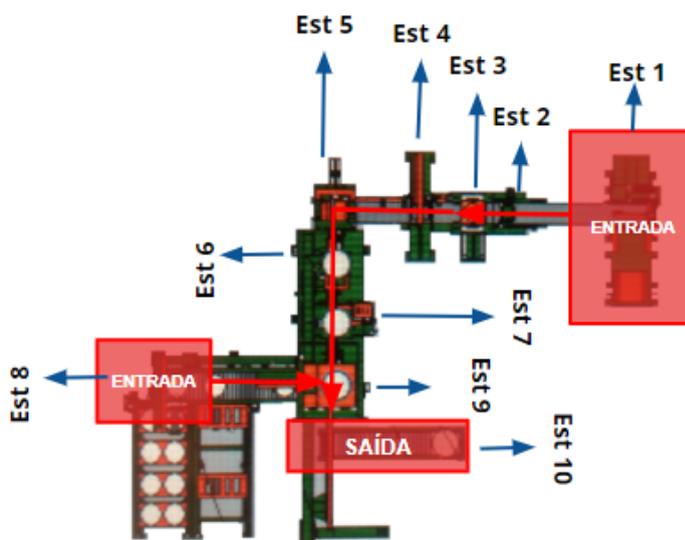
Quadro 6 – Aplicação ferramenta 5W1H para análise de tempo ciclo.

| Tempo ciclo | Perguntas      | Respostas   |
|-------------|----------------|---|
| Perfiladora | • <i>What</i>  | • <i>Delay</i> do ciclo.  |
|             | • <i>When</i>  | • Em todos os turnos  |
|             | • <i>Where</i> | • Em todo o equipamento   |
|             | • <i>Who</i>   | • Processo automático   |
|             | • <i>Why</i>   | • Falha do procedimento envolvendo a máquina.                           |
|             | • <i>How</i>   | • O equipamento utiliza mais tempo do que o necessário para o processo. |

Fonte: Autora.

Em seguida foi realizado um estudo do processo, para compreender qual era a etapa responsável por estender a média de tempo ciclo. Tal estudo consistiu na divisão do equipamento em diversas partes, chamadas de estações, na identificação dos pontos de entrada e saída de material/produto e na cronometragem do tempo utilizado em cada estação de trabalho. A Figura 13 mostra a divisão do equipamento e a identificação dos pontos de entrada e saída.

Figura 13 – Mapa do processo no equipamento.



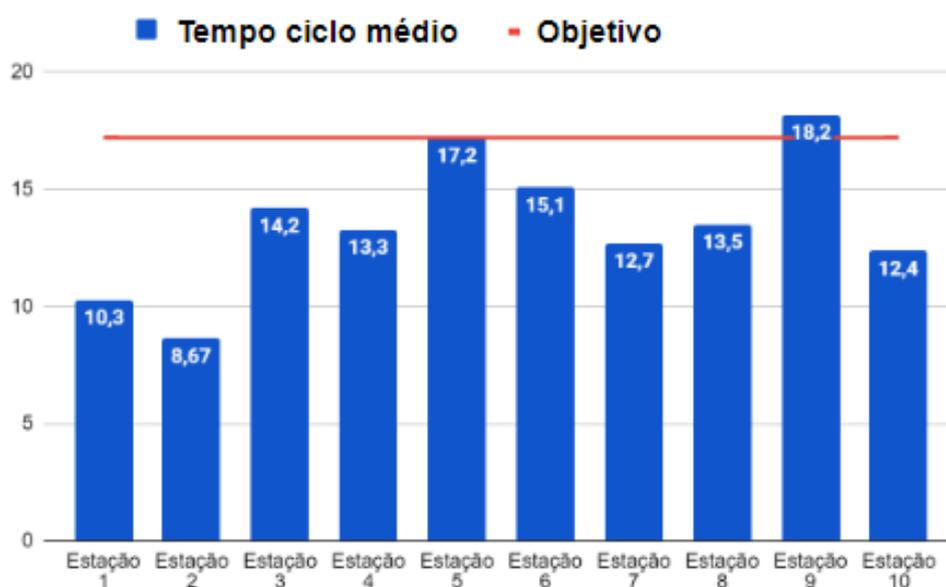
Legenda: Nesta figura as estações foram classificadas utilizando a contração “Est”, seguida da um número.

Fonte: Autora.

Após o mapeamento do processo, foi realizada uma etapa de cronometragem do tempo ciclo médio de cada estação e estabelecido um tempo padrão para o processo. Este padrão foi determinado utilizando como referência a estação mais lenta, ou seja, a estação gargalo. Com isso, foi possível perceber que o menor tempo ciclo médio do equipamento estava localizado na estação 5 e este foi estabelecido como tempo padrão da máquina.

Contudo, a estação 9 apresentava um desvio de tempo ciclo com grande variação, em muitos casos possuindo um tempo menor que 17,2 segundos e podendo atingir até mais de 18,2 segundos. Com isto, foi possível identificar a existência de problemas na estação 9 que deveriam ser tratados para que esta estação pudesse se manter dentro do tempo padrão estabelecido. A Figura 14 mostra os dados coletados para cada estação do equipamento.

Figura 14– Tempo ciclo por estação.



Fonte: Autora.

Após estabelecido o padrão e identificada a variação de tempo ciclo na estação 9, foram realizadas análises para identificar as oportunidades de melhoria existentes nesta estação, de forma a eliminar a variação da média de tempo da mesma. Em seguida, as atividades executadas realizadas nesta estação foram listadas, de forma a facilitar o entendimento e o processo de identificação das atividades responsáveis pelo atraso no ciclo.

Com isto, foi possível perceber que as atividades de subida e descida do elevador, acionado por servo motor, do equipamento estavam sendo executadas de maneira mais lenta do que esperado. Para entender as possíveis causas raízes do problema, utilizou-se o diagrama de Ishikawa. Com isso foi possível perceber que os parâmetros programados no equipamento estavam inadequados para o processo, devido a estrutura da programação do mesmo, não permitindo a realização das etapas de carregamento e descarregamento de produto simultaneamente as demais atividades.

Para solucionar o problema, foi realizada uma alteração no software da máquina, aumentando a velocidade do transportador e permitindo que o equipamento executasse as etapas de elevação e descida do elevador de forma mais acelerada, através do aumento da velocidade de atuação do servo motor responsável pela movimentação do elevador. Também, foram realizadas alterações na lógica do software do equipamento, para que este pudesse realizar as etapas de subida e descida do elevador simultaneamente com outras atividades.

Após estas alterações, foi possível perceber uma redução de 50% nas atividades de elevação e descida do elevador, desta forma possibilitando que o tempo ciclo da estação 9 se encontrasse abaixo do tempo padrão estabelecido. A Figura 15 apresenta o antes e depois do tempo ciclo da estação.

Figura 15– Comparativo do antes e depois do tempo ciclo da estação 9.

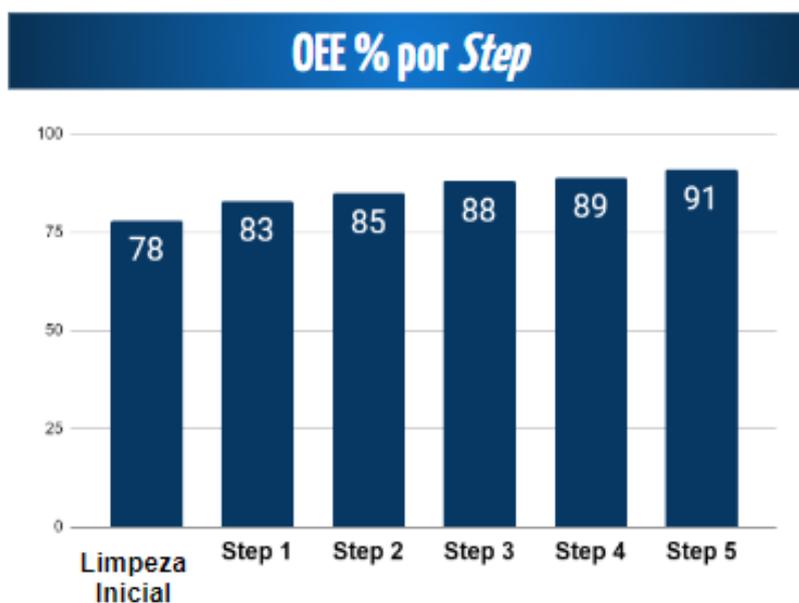
| <b>ANTES</b>                   |                  | <b>DEPOIS</b>                  |                  |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| <b>STEP</b>                    | <b>Tempo (s)</b> | <b>STEP</b>                    | <b>Tempo (s)</b> |
| Avança Fundo                   | 1,05             | Avança Fundo                   | 1,05             |
| Recua Robô do fundo            | 0,98             | Recua Robô do fundo            | 0,98             |
| Avança movimentador da lateral | 1,10             | Avança movimentador da lateral | 1,10             |
| Abaixa movimentador            | 1,50             | Abaixa movimentador            | 1,50             |
| Abre a garra do movimentador   | 0,45             | Abre a garra do movimentador   | 0,45             |
| Index do elevador              | 0,68             | Index do elevador              | 0,68             |
| Descida do elevador            | 2,07             | Descida do elevador            | 1,13             |
| Braço da polia fecha           | 0,39             | Braço da polia fecha           | 0,39             |
| Rebordeamento                  | 5,20             | Rebordeamento                  | 5,20             |
| Braço da polia abre            | 0,38             | Braço da polia abre            | 0,38             |
| Elevador sobe                  | 2,02             | Elevador sobe                  | 1,24             |
| Movimentador fecha             | 0,79             | Movimentador fecha             | 0,79             |
| Movimentador sobe              | 1,01             | Movimentador sobe              | 1,01             |
| Movimentador avança            | 0,52             | Movimentador avança            | 0,52             |
| <b>Tempo total</b>             | <b>18,14</b>     | <b>Tempo Total</b>             | <b>16,42</b>     |

Esta mudança no tempo ciclo da estação resultou em um ciclo geral do equipamento 1 segundo mais rápido, resultando em um acréscimo de 200 peça diárias na produção. Vale ressaltar que todas as atividades executadas neste *step* foram feitas utilizando mão de obra interna, desta forma reduzindo o custo de implementação desta etapa da metodologia.

Ao final do *step* 5, foi possível observar um ganho de 2 pontos percentuais no OEE que passou a ser de 91%. Contudo, diferente dos *steps* anteriores, o ganho de OEE obtido está diretamente relacionado a melhoria da *performance* do equipamento.

A Figura 16 apresenta o OEE obtido ao final de cada etapa.

Figura 16– OEE por etapa.



Fonte: Autora.

## 5. CONCLUSÕES

Durante a implementação do pilar de AM no equipamento estudado, foi possível observar um aumento gradativo no indicador OEE da máquina durante a aplicação da metodologia *7 steps*. Dentre os passos aplicados, aqueles que tiveram maior influência neste indicador foram os *steps* 1, 2 e 3, que são justamente aqueles que focaram no quesito “Disponibilidade” do cálculo do indicador. Os *steps* 4 e 5 também apresentaram uma influência, porém menos expressiva do que os *steps* anteriores. Estes dois últimos focaram respectivamente nos aspectos de “Qualidade” e “*Performance*” do indicador.

Ao finalizar a aplicação do *step* 5 e conseqüentemente a implementação do pilar de AM, o equipamento em questão se tornou um modelo para a fábrica, ou seja, tornou-se referência para as futuras expansões da unidade fabril, guiando o procedimento de implementação de novos maquinários, de forma que estes já sigam os conceitos aplicados no equipamento modelo, desde a sua instalação. Este maquinário se tornou o equipamento mais lucrativo da unidade fabril e assim provou a eficácia da implementação do pilar de AM e das ferramentas utilizada.

Após a implementação do pilar, o equipamento se tornou tão eficiente que além de produzir mais peças por dia, também possibilitou a redução da quantidade de turnos de funcionamento, passando de quatro turnos diários para apenas três turnos diários, gerando uma redução de custos para a companhia. A metodologia aplicada conta com 7 passos. Contudo, para o presente trabalho foram realizados apenas cinco passos, pois o custo de implementação dos demais passos seriam muito superiores aos ganhos obtidos.

Com o presente trabalho, foi possível demonstrar a eficácia da metodologia e seu impacto na eficiência do equipamento. Entretanto, vale ressaltar que não se faz necessária a execução de todos os passos da mesma para que seja possível obter tal incremento na eficiência. Contudo, observou-se que poucos serão os casos onde o custo de implementação dos últimos passos será inferior ao retorno gerado pelos mesmos, de forma a justificar a aplicação completa da metodologia.

## 6. REFERÊNCIAS

ARAKI JUNIOR, W. K. Aplicação das ferramentas básicas de qualidade para redução de defeitos em uma indústria de alumínio. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ARAUJO, V. F. de; PEREIRA, R. da S. Gestão de custos: A contribuição do cost deployment no processo de gestão das perdas em uma indústria localizada em Goiana - PE. **Revista Campo do Saber**. v. 6, n. 2, p. 133-149, jul-dez, 2020.

BORGES, R. C.; OLIVEIRA, E. H. de; OLIVEIRA, A. S. de. Estudo da Implantação do pilar controle da qualidade da metodologia world class manufacturing (WCM) em uma empresa do setor automotivo no sul de Minas Gerais. *In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*, 16, 2013, São Paulo. **Anais** [...] São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2013. p. 1-16.

BOZAĞAÇ, I. World Class Manufacturing on Automobile Industry and Applications of Autonomous Maintenance in Press Shop. Orientador: Melih Bayramoğlu. 2010. 118 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Ciências Naturais e Aplicadas, Universidade de Çukurova, Adana, Turquia, 2010.

BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I. Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. **Production**. v. 23, n. 2, p. 205-225, jun. 2013.

CHANDRA, A.; CHATURVEDI, Y.; KUMAR, A. OEE enhancement using TPM in light machine shop: a case study. **International Journal of Applied Engineering Research**. v. 13, n. 6, p. 202-208, jan. 2018.

CORTEZ, et al. Análise das relações entre o processo de inovação na engenharia de produto e as ferramentas do WCM: Estudo de caso em uma empresa do setor automobilístico. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 30, 2010, São Carlos. **Anais** [...] São Carlos: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2010, p.1-15.

D'ORAZIO, L.; MESSINA, R.; SCHIRALDI, M. M. Industry 4.0 and World Class Manufacturing Integration: 100 Technologies for a WCM-I4.0 Matrix. **Appl. Sci.** v. 10, n. 14, p. 1-24, jul. 2020.

DUDEK, M. Workplace organisation as a tool of restructurisation of production systems. In: BOROWIECKI, R. (ed); JAKI, A. (ed); ROJEK, T. (ed). **Contemporary economies in the face of new challenges**. Cracow: Foundation of the Cracow University of Economics, 2013. p. 439-447.

KRUMMENAUER, R. J.; NUNES, F. de L. Proposta de melhorias na manutenção autônoma do setor de utilidades de uma planta petroquímica. **Revista Produção em Foco**. v. 7, n. 2, p. 338-359, dez. 2017.

MOLEND, M. The Autonomous Maintenance Implementation Directory as a Step Toward the Intelligent Quality Management System. **Management Systems in Production Engineering**. v. 24, n. 4, p. 274-279, mar. 2017.

PARREIRAS, et al. Inovação em processos e gestão da qualidade: análise da implantação da metodologia de WCM na casa New Holland. **Journal of Innovation, Projects and Technologies**. v. 2, n. 1, p. 17-27, dez. 2014.

PEREIRA, A. C. C. Manutenção Industrial: proposta e aplicação de um modelo de Manutenção Autônoma. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2018.

RAPOSO, C. de F. C. Overall equipment effectiveness: Aplicação em uma empresa do setor de bebidas do pólo industrial de Manaus. **Rev. Prod. Onl.** v. 11, n. 3, p. 648-667, set. 2011.

SAN MARTIN, F. G.; OLIVEIRA, M. A. de; VERONEZE, G. de M. Implementação da metodologia TPM no processo de produção de placas de ar condicionado numa empresa do Polo Industrial de Manaus. **Brazilian Journal of Development**. v. 8, n. 6, p. 45466-45481, jun. 2022.

SANTOS, L. P. S.; PERETTA, M. V. LINDGREEN, R. M. H. Aplicação de WCM em uma fresadora/plaina após a realização de um retrofit. *In*: Mostra Internacional de

Pós-Graduação, 18, 2017, Taubaté. **VI CICTED Anais 2017**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2017. p.1-10.

STORT, L. G.; LISBOA, F. C. Aplicação de ferramentas da qualidade para uma melhoria da gestão de custos em uma unidade de alimentação e nutrição: Um estado de caso. **Research, Society and Development**. v. 11, n. 13, p. 1-13. set. 2022.