

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CORNELIO PROCÓPIO
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCELA FUJIHARA COSTA

**ANÁLISE DO IMPACTO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NO
INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL: ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

**CORNÉLIO PROCÓPIO
2022**

MARCELA FUJIHARA COSTA

**ANÁLISE DO IMPACTO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NO INDICADOR DE
EFICIÊNCIA GLOBAL: ESTUDO DE CASO**

Analysis of industrial automation in the global efficiency indicator: case study.

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de
Curso 2, como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gabriela Helena Bauab
Shiguemoto.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt_BR)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt_BR

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcela Fujihara Costa

Análise da automação industrial no indicador de eficiência global: estudo de caso.

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 10:00hs do dia 02/12/2022 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Avaliadora composta pelos(as) professores(as) abaixo. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador(a))

Prof(a). Dr(a). Wagner Fontes Godoy - (Membro)

Prof(a). Dr(a). André Luís Shiguemoto - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

DEDICATÓRIA

À Deus, longânimo, pelas bênçãos e ensinamentos e me sustentou até aqui, não me permitiu desistir;

À minha excelente e amável mãe, que sempre me apoia, tem paciência em caminhar minha jornada de mãos dadas comigo e cura a dor com amor, minha inspiração, minha fortaleza;

À minha indescritível irmã, que sempre me aconselha fielmente, adota papéis fundamentais no meu crescimento, incrivelmente protetora e confidente, ouvido e conforto em todos os momentos;

Ao meu virtuoso pai, que sempre me coloca em primeiro lugar e não mede esforços para me proporcionar o melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido Ravin, que me ensinou paciência, reflexão e que o realmente importante não é quantas vezes você cai, mas sim quantas vezes se levanta;

Às minhas melhores amigas Bruna e Inessa, que fizeram parte de momentos inesquecíveis;

Ao meu gentil cunhado Renato, que trouxe muita alegria para minha família;

À minha doce orientadora Gabriela, que dedicou tempo, paciência e me encorajou com elogios para a conclusão deste significativo ciclo de minha vida.

A todos vocês, minha legítima gratidão!

*“Were you born to resist or be abused?
I swear I’ll never give in, I refuse.”
(Foo Fighters)*

RESUMO

COSTA, Marcela F. **ANÁLISE DO IMPACTO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL: ESTUDO DE CASO.** 2022. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio-PR, 2022.

Na economia global hoje há uma busca crescente por métodos e processos que impulsionem melhorias na qualidade, custos e produtividade. A Manutenção Produtiva Total foi identificada como o melhor processo de melhoria de manufatura da classe, juntamente com o fenômeno “*LEAN*” que permitiu que as indústrias manufatureiras aumentassem consideravelmente seus níveis de lucratividade e produtividade. A manutenção enxuta, aliada a outras iniciativas, como a Manutenção Produtiva Total, tem permitido que as empresas foquem na eficiência de seus processos produtivos. No entanto, a manutenção enxuta não é um subconjunto nem um lançamento da manufatura enxuta; em vez disso, é um pré-requisito para o sucesso como um fabricante enxuto que fornece uma abordagem integral para a função de manutenção. Nesse sentido, reduzindo desperdícios e garantindo conformidade no processo de produção são identificadas como variáveis-chave nesta indústria. Este trabalho apresenta a aplicação do OEE (Eficácia Geral do Equipamento), com o objetivo de avaliar o desempenho operacional da planta. Nesse sentido, foram coletados primários e estratificadas as paradas de linha, e os indicadores utilizados pela planta foram confrontados com as dimensões que compõe o indicador OEE (Disponibilidade, Performance e Qualidade) para avaliar os possíveis comportamentos e correlações.

Palavras-chave: Manutenção Produtiva Total; Manutenção Enxuta; Produtividade sem Desperdícios; Eficácia Geral do Equipamento.

ABSTRACT

COSTA, Marcela F. **Analysis of industrial automation in the global efficiency indicator: case study**. 2022. 73 p. Final Paper (Bachelor of Electrical Engineering) – Federal University of Technology of Parana. Cornélio Procópio-PR, 2022.

In today's global economy an increasing search is on for methods and processes that drive improvements in quality, costs, and productivity. The Total Productive Maintenance has been identified as a best-in-class manufacturing improvement process, along with the "LEAN" phenomenon that has allowed manufacturing industries to greatly increase their levels of profitability and productivity. Lean maintenance, combined with other initiatives, such as Total Productive Maintenance, has allowed these companies to focus on the efficiency of their production processes. However, Lean maintenance is neither a subset nor a spin-off of lean manufacturing; it is instead a prerequisite for success as a lean manufacturer that provides a holistic approach to the function of maintenance. In this sense, reducing wastes and assuring compliance in production process are identified as key variables in this industry. This work presents the application of the OEE (Overall Equipment Effectiveness), to assess the plant operational performance. In this direction, primary data were collected, and the line downtimes were stratified, and the indicators used by the plant were confronted with the dimensions that make up the OEE indicator (Availability, Performance and Quality) to evaluate the possible behaviors and correlations.

Keywords: Total Productive Maintenance; Lean Maintenance; Productivity without Waste; Overall Equipment Effectiveness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um processo industrial de celulose e papel.....	18
Figura 2 - Visualização simplificada das etapas de processamento de celulose.....	18
Figura 3 - Tipos básicos de equipamentos que compõe um “sistema industrial”.....	19
Figura 4 - Exemplo de um sistema de controle automático.....	21
Figura 5 - Elementos básicos de um sistema automatizado.....	22
Figura 6 – Possíveis desperdícios na produção	28
Figura 7 - Pilares da Manutenção Produtiva Total.....	31
Figura 8 - Principais objetivos do Kaizen.....	33
Figura 9 - Variáveis necessárias para análise da Eficácia Geral do Equipamento.....	43
Figura 10 - Equação para cálculo da Eficácia Geral do Equipamento.....	43
Figura 11 - Etapas do ciclo de manufatura.....	48
Figura 12 - Processo produtivo da cola de secagem rápida.....	49
Figura 13 - Representação da norma técnica para identificação de equipamentos....	50
Figura 14 - Regra para identificação do equipamento.....	50
Figura 15 - Processo de recebimento de matéria prima.....	52
Figura 16 - Processo de transferência.....	52
Figura 17 - Processo produtivo de estudo.....	53
Figura 18 - Recipiente a granel, reservatório gradeado.....	53
Figura 19 - Exemplo de vaso de pressão vertical.....	54
Figura 20 - Exemplo de sistema (camisa) de aquecimento.....	54
Figura 21 - Processo do sistema de dosagem.....	55
Figura 22 - Processo de preparação para carregamento do vaso (V3101-02).....	56
Figura 23 - Processo de manobra das válvulas para transferência.....	56
Figura 24 - Processo com o vaso (V3101-02) abastecido.....	57
Figura 25 - Processo de aquecimento do vaso (V3101-02).....	57
Figura 26 - Processo de carregamento do vaso (V3101-04).....	58
Figura 27 - Sistema responsável pela transferência.....	59
Figura 28 - Processo de manobra da válvula (XV3101-16), prestes a abrir.....	59
Figura 29 - Processo de manobra da válvula (XV3101-16), aberta.....	60
Figura 30 - Processo de manobra quando a válvula volta a fechar.....	60
Figura 31 - Processo de transferência de produto através da bomba helicoidal.....	61

Figura 32 - Exemplo de Gráfico de Função Sequencial.....	62
Figura 33 - Estrutura de comunicação industrial com o processo de manufatura.....	63
Figura 34 - Exemplo de imagem de tela do supervisório.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Significado 5S.....	32
Tabela 2 - Explicação dos parâmetros do indicador de Eficácia Geral do Equipamento.....	43
Tabela 3 - Identificação dos símbolos.....	51
Tabela 4 - Códigos referente à cada parada ou interrupção de linha.....	66
Tabela 5 - Comparação de tempo de parada antes e depois da automação.....	67
Tabela 6 - Melhoria de disponibilidade para cada problema.....	67
Tabela 7 - Cálculo do indicador Eficácia Geral do Equipamento.....	68

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BPF	Boas Práticas de Fabricação
CLP	Controlador Lógico Programável
CMMS	Sistema Informatizado de Gerenciamento de Manutenção - (<i>Computerized Maintenance Management System</i>)
EBRS	Sistema Eletrônico de Gravação de Lote - (<i>Eletronic Batch Record System</i>)
EAM	Gerenciamento de Ativos Empresariais - (<i>Enterprise Asset Management</i>)
IBC	Recipiente a Granel Intermediário - (<i>Intermediate Bulk Container</i>)
LIMS	Sistema de Informação e Gestão Laboratorial - (<i>Laboratory Information Management System</i>)
MES	Suporte à Execução de Fabricação - (<i>Manufacturing Execution Support</i>)
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts - (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
MRO	Manutenção, Reparos e Operações - (<i>Maintenance, Repair and Operations</i>)
RCA	Análise de Causa Raiz - (<i>Root Cause Analysis</i>)
RCM	Manutenção Centrada na Confiabilidade - (<i>Reliability Centered Maintenance</i>)
TPM	Manutenção Produtiva Total - (<i>Total Productive Maintenance</i>)
TPS	Sistema de Produção Toyota - (<i>Toyota Production System</i>)
OEE	Eficácia Geral do Equipamento - (<i>Overall Equipment Effectiveness</i>)
OS	Ordem de Serviço
SEMI	Equipamentos e Materiais Semicondutores Internacional - (<i>Semiconductor Equipment and Material International</i>)
SMED	Troca Rápida de Ferramenta - (<i>Single-minute Exchange of Die</i>)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivos Gerais	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Automação Industrial	17
3.1.1	Controlador Lógico Programável	24
3.2	Lean Manufacturing.....	26
3.3	Manutenção Produtiva Total (TPM).....	29
3.3.1	5S	31
3.3.2	Primeiro Pilar: Melhorias Específicas	33
3.3.3	Segundo Pilar: Manutenção Autônoma	34
3.3.4	Terceiro Pilar: Manutenção Planejada	34
3.3.5	Quarto Pilar: Manutenção de Qualidade.....	35
3.3.6	Quinto Pilar: Controle Inicial	36
3.3.7	Sexto Pilar: Educação e Treinamento.....	37
3.3.8	Sétimo Pilar: TPM Administrativo	38
3.3.9	Oitavo Pilar: Segurança, Saúde e Meio Ambiente	38
3.4	Eficácia Geral do Equipamento (OEE)	41
3.5	Suporte à Execução de Fabricação (MES)	44
3.5.1	Gerenciamento de Material	46
3.5.2	Programação de Produção	46
3.5.3	Gerenciamento de Pedidos de Processo	46
3.5.4	Gestão de Laboratório.....	47
3.5.5	Gravação Eletrônica em Lote	47

4	INFORMAÇÕES DO PROCESSO	49
4.1	Simbologia	49
4.2	Transcurso Produtivo.....	51
4.2.1	Sistema de Dosagem.....	53
4.2.2	Carregamento do Vaso (V3101-02).....	55
4.2.3	Carregamento do Vaso (V3101-04).....	58
5	APRESENTAÇÃO DO PROJETO	62
6	DISCUSSÃO E RESULTADOS OBTIDOS	66
7	CONCLUSÃO.....	69
8	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Guskova e Nepopushcheva (2019) declara a importância de automatizar todo o processo, ao invés de, somente alguns componentes. Uma análise compreensiva do processo produtivo não pode ser feita sem monitoramento constante. A automação de processos fornece métodos de controle que impactam a produção industrial.

Uma linha de produção composta por uma sequência de processos pode ser padronizada por um sistema computacional lógico programável automático. De acordo com Benetti et al. (2007), a padronização é a chave para aumento produtividade, ou seja, Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*) em conjunto com o Seis Sigma (*Six Sigma*). Festugatto (2006) confirma que automação promove disponibilidade de máquina, reduz intervalos ociosos na linha produtiva e promove o balanceamento da linha. Ao contrário do que se costuma pensar, a Produção Enxuta e o Six Sigma, não são a mesma coisa e são complementares entre si.

A automação industrial tem como finalidade substituir processos manuais por processos automáticos. De acordo com Rosário (2009), todo processo otimiza atividades manuais pode ser considerado automação. A produção que possui um ciclo como estrutura de processo, ou seja, composto por atividades sequenciais repetidas, possui capacidade de ser padronizado. De forma análoga, a detecção e correção de problemas operacionais também serão padronizados tornando viável a aplicação da automação (NICOLETTI, 2013).

Há estudos focados na performance do controle e operação, a norma técnica ISO 22400 padroniza os indicadores-chave de desempenho para gerenciamento de operações de fabricação. A razão para baixa performance é o desperdício em diversas formas, como tempo de inatividade, operação, qualidade etc. Identificar desperdícios e implementar ações que os reduzam, aumentam a performance do processo (GUSKOVA e NEPOPUSHCHEVA, 2019). A maioria dos indicadores podem ser aplicados em um equipamento individual, subprocessos, bem como, uma planta inteira.

Uma das ferramentas mais importantes na filosofia da Manutenção Produtiva Total (TPM) é a OEE (*Overall Equipment Efficiency*) que representa a Eficácia Geral do Equipamento, também conhecido como indicador global. Esse indicador é o resultado da multiplicação de três parâmetros (disponibilidade, performance e qualidade) de processos que são protagonistas nessa filosofia (MUCHIRI e

PINTELON, 2008). O conceito da Manutenção Produtiva Total pode ser definido como uma gestão destinada a aumentar a eficiência total do equipamento, por meio de um sistema detalhado de manutenção da produção que engloba o ciclo de vida do equipamento. O padrão de gestão da TPM visa a eliminação de desperdícios e a evolução da estrutura do negócio. A TPM engloba aspectos como: projeto, uso e manutenção, e padroniza toda a participação do pessoal (FUENTES, 2006).

O Controlador Lógico Programável (CLP), muito utilizado na automação, nada mais é do que um processador, agregado a memórias, entradas e saídas digitais e analógicas com capacidade de processamento e comunicação com outros dispositivos, podendo ser instrumentos como painéis de operação, motores, sensores, chaves e válvulas (BENETTI, 2007). Dessa forma, sua aplicação é um ótimo recurso para controle e automação de uma linha de produção.

1.1 Justificativa

O *Lean*¹ e a automação são aplicados a fim de agilizar e automatizar simultaneamente os processos de produção e logística para melhorar a qualidade, reduzir o desperdício e aumentar a agilidade. O sistema *Lean Manufacturing*, tem como objetivo reduzir o tempo de produção de forma a enxugar os desperdícios e gerar mais eficiência. Como complemento, o *Six Sigma* objetiva extinguir custos extras e eliminar falhas nos processos para melhorar os resultados e as validações dos clientes. Sendo assim, surge o termo *Lean Six Sigma* que se trata da junção dessas duas metodologias, complementares entre si.

Esse trabalho, baseia-se na pesquisa e execução do *Lean*¹ com o suporte de algumas tecnologias avançadas. A aplicação do método à produção e a logística confirma que, o aprimoramento de processos levando em consideração o possível uso da automação avançada, resulta em melhorias significativas. Esse estudo de caso fornece bom exemplo prático das aplicações e implicações de tecnologia na produção, com percepções teoricamente fundamentadas. As evidências sugerem que o *Lean*¹ e a automação são facilitadores nas organizações de manufatura (NICOLETTI, 2013).

¹ *Lean* indica o conjunto das metodologias citadas, *Lean Manufacturing* e *Lean Six Sigma*.

2 OBJETIVOS

O trabalho apresenta uma aplicação prática de automação no segmento industrial. A aplicação abrange conceitos e metodologias de engenharia no setor de manutenção, processos e planejamento.

2.1 Objetivos Gerais

Para melhor compreensão do estudo de caso deste projeto de automação industrial, será necessário o entendimento dos recursos aplicados. Por conseguinte, também é visto como objetivo desse estudo de caso, primeiramente a aprendizagem teórica dos conteúdos envolvidos, somente dessa forma, a análise será eficiente, coerente e atingirá seu propósito.

Dessa forma, o conteúdo desse trabalho proporcionará o estudo da metodologia *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*. Haverá o conhecimento da Manutenção Preventiva Total e através desta técnica será possível entender a importância de identificar e planejar atividades essenciais. Haverá também aprendizagem do indicador do OEE, também conhecido como indicador de eficiência global, que requer o acompanhamento de processos de manufatura para extração de dados em tempo real. Essas descobertas proporcionarão uma visão clínica e ampla de processos industriais produtivos, resultando na capacidade da aplicação da melhoria contínua.

2.2 Objetivos específicos

Já como objetivos específicos do presente trabalho, têm-se:

- Compreender os benefícios e possibilidades da automação na manufatura;
- Perceber as diversas aplicações possíveis do CLP na indústria;
- Entender os impactos do planejamento na manutenção;
- Efetuar análise de eficiência de processos através de dados;
- Aprender aplicar a metodologia *Lean Six Sigma*;
- Aprender a calcular o indicador de eficiência global.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A área de automação industrial está sendo repensada em função do grande desenvolvimento experimentado pelas técnicas digitais. No contexto industrial, há algumas décadas, os problemas de automação são cada vez mais importantes. A sociedade depara-se com o avanço da tecnologia e com os seus desafios, que não são poucos. A exponencial evolução da tecnologia e dos últimos anos a serviço da automação dispõe uma variedade de alternativas para a implementação de formas mais eficazes na resolução de problemas (FUENTES, 2006).

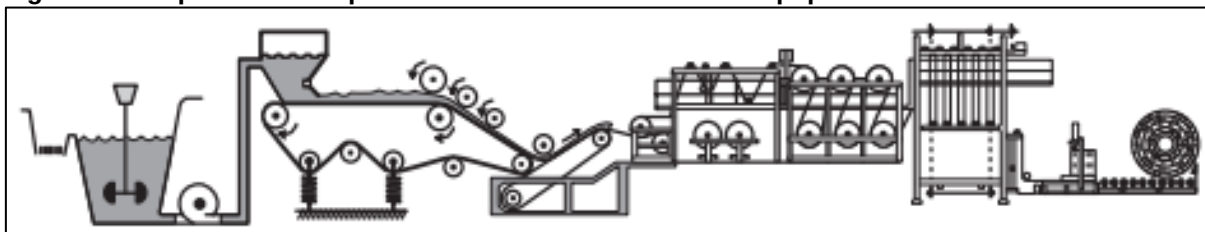
O assunto é diversificado, pois abrange desde tópicos relativos à arquitetura de *hardware* e *software*, programação de controladores lógicos programáveis, controle de malhas contínuas até o gerenciamento estratégico de uma empresa, passando pela supervisão dos processos industriais e pela logística da produção. As técnicas desenvolvidas para o tratamento desses problemas atingiram hoje um relativo grau de sofisticação tecnológica e formal, exigindo pessoal técnico com formação específica para sua aplicação adequada.

3.1 Automação Industrial

Todo processo de produção industrial consiste em uma série de máquinas simples ou complicadas que, através da combinação de matérias-primas, sofrem uma transformação sequencial e integração para produzir o produto. O termo “máquina” denota todo tipo de dispositivo eletromecânico no piso industrial, por exemplo, desde um motor simples (como uma furadeira ou uma máquina de corte) até uma máquina química complicada (por exemplo, uma máquina de combustão química). Todos os conjuntos de máquinas (nomeadamente máquinas não homogêneas) combinadas em um processo de produção industrial, é referido como uma “máquina integrada” (MEDIDA, 2008).

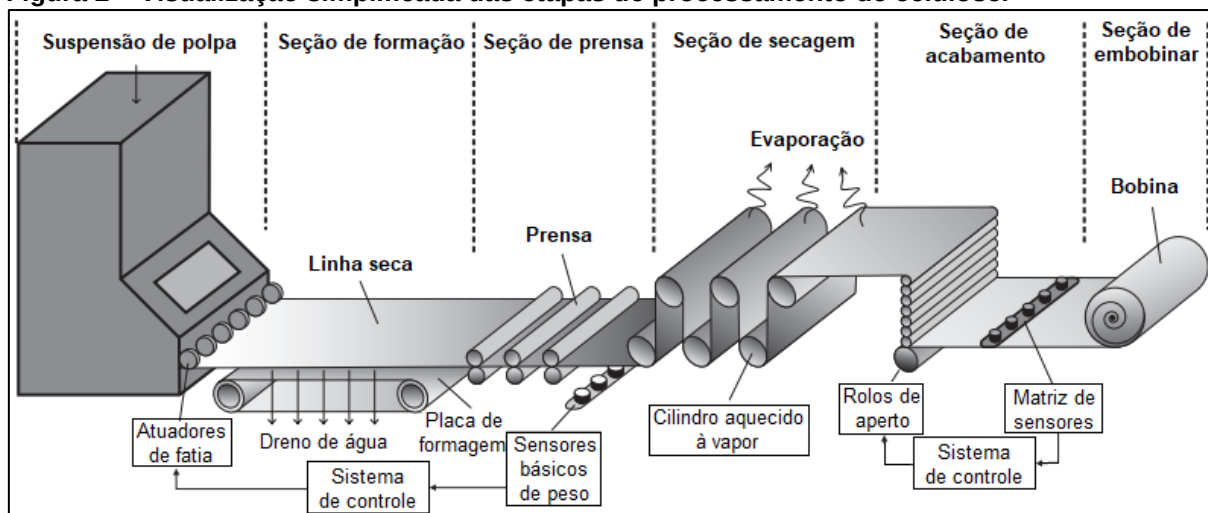
Como exemplo de máquina integrada, a Figura 1 mostra a linha de produção típica de uma máquina de papel integrada onde a polpa bruta passa por processos sequenciais de pré-tratamento e moagem, refino, branqueamento, prensagem e secagem da celulose, até que se transforme no papel final de qualidade pré-definida. A Figura 2 mostra as várias etapas do processo de fabricação de papel.

Figura 1 – Esquema de um processo industrial de celulose e papel.



Fonte: Modificado de “Industry 4.0: state of the art and future trends”.

Figura 2 – Visualização simplificada das etapas de processamento de celulose.



Fonte: Modificado de “Industry 4.0: state of the art and future trends”.

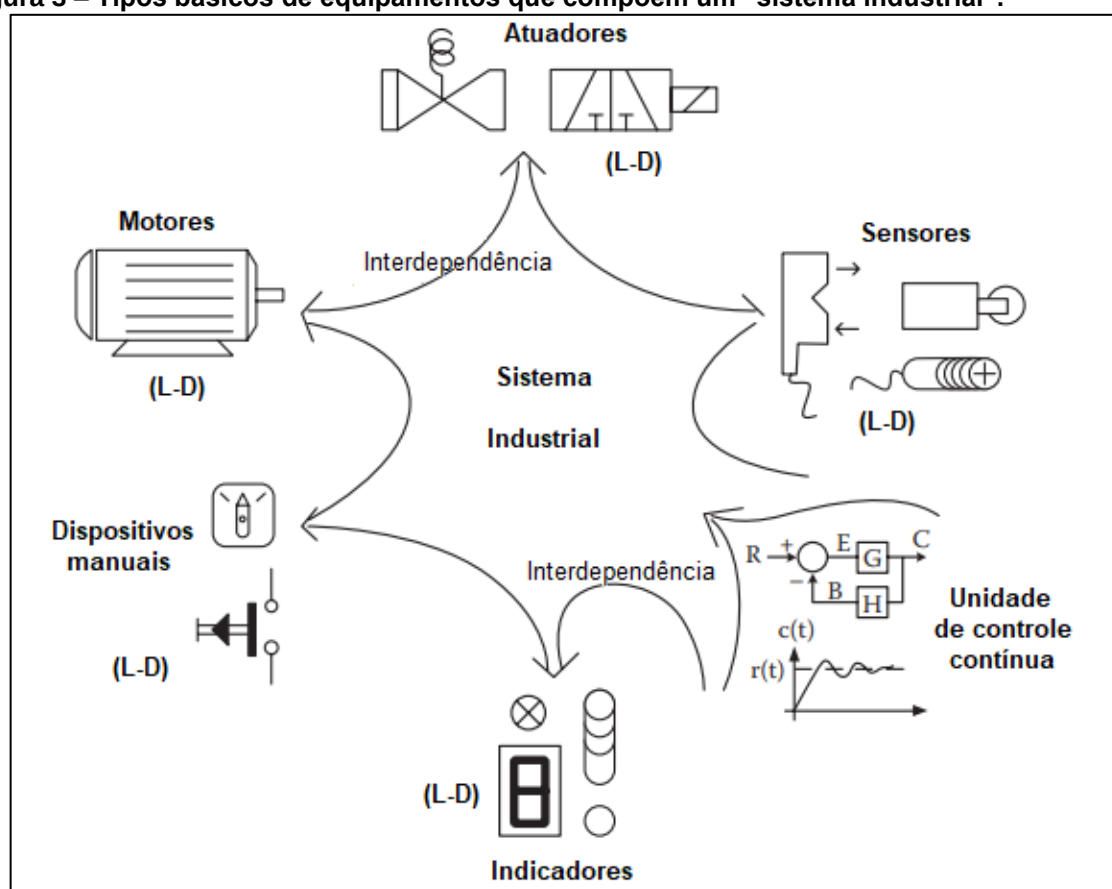
No caso de uma máquina integrada toda a sequência de operações para todas as máquinas envolvidas, as transformações e integrações exatas das matérias-primas, bem como os requisitos operacionais gerais, são a priori detalhados e claramente definidos pelo engenheiro responsável por projetar e implementar a automação de processos desejada. Lamb (2013) diz que para uma linha de produção específica, a sequência de operações e transformações, aplicadas aos produtos, é gerada a partir do próprio processo produto e não é possível, por simplificações, que essas etapas do processo sejam alteradas. No geral, para todas as automações industriais produzidas, o procedimento automatizado deve sempre satisfazer as regras e sequências do produto produzido manualmente, independente da complexidade relacionada na solução de automação (SHELL, 2000).

Desde o início da era industrial, o principal objetivo de todo o processo de produção era alcançar o nível mais alto possível de automação. Redução do número de funcionário envolvidos também foi um objetivo comum, a fim de acompanhar significativamente a tendência crescente na automação, enquanto o desenvolvimento global de processos industriais ocorreu em paralelo com os avanços tecnológicos no

início do século 19, principalmente quando o trabalho humano começou a ser substituído por máquinas (Rosário, 2009). A transição do modelo de produção, de forma inicialmente multi interrompida para a forma contínua, exigiu o desenvolvimento de metodologias e ferramentas específicas que permitissem a coordenação central de todos os vários procedimentos com mínimo de intervenção humana no processo.

O controle automático pode ser definido como o controle contínuo de uma variável analógica física através da utilização de qualquer tipo de atuador, enquanto a automação industrial se refere ao controle sequencial ou digital L-D (LIGA-DESLIGA) dos dispositivos de dois estados (NICOLETTI, 2013). Conforme apresentado na Figura 3, dentre os dispositivos discretos, um dispositivo de controle de tempo contínuo também foi incluído no sistema industrial, a fim de apresentar o conceito geral de que em um sistema de controle industrial, múltiplas unidades de controle de tempo contínuo podem ser integradas e atuam de forma cooperativa com o restante das unidades de controle a automação

Figura 3 – Tipos básicos de equipamentos que compõem um “sistema industrial”.



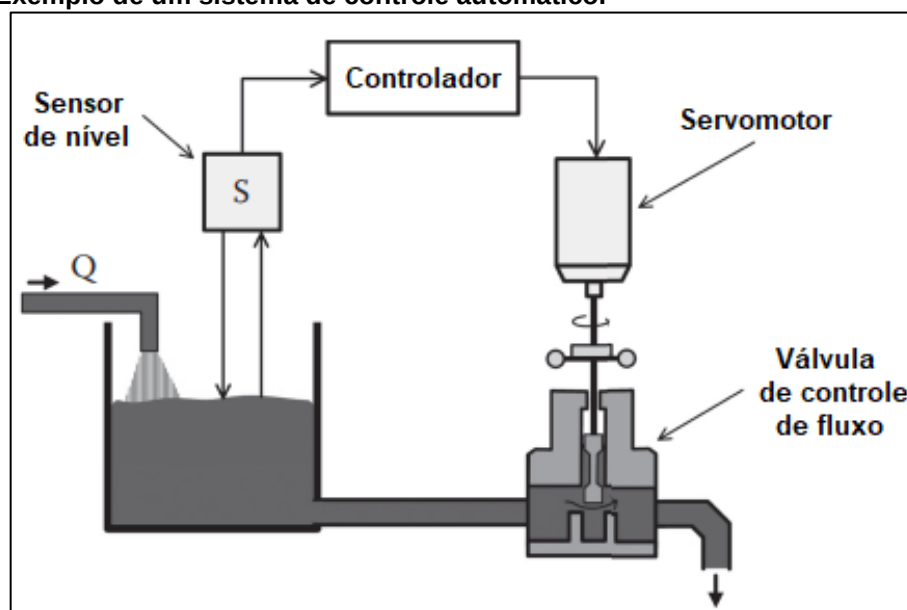
Fonte: Modificado de "Industrial automation: Hands-on".

No caso de processos de controle industrial (processos em lote), existem múltiplas variáveis de processos aleatórias, principalmente devido a múltiplas perturbações externas durante as fases de produção. A redução e eliminação dessas variações podem ser alcançadas através da aplicação adequada de princípios de controle automático (GUSKOVA e NEPOPUSHCHEVA, 2019). Em muitos casos, também é desejável que uma variável de processo altere o valor definido de um existente convergido para outro ponto de operação, enquanto certas especificações geralmente são alteradas para alcançar essa transição, por exemplo, um tempo de transição rápido ou lento, uma mudança de esforço de controle mínimo, uma convergência rápida etc. Este problema também pode ser abordado pela teoria do controle automático aplicando abordagens teóricas e aplicadas existentes (SHELL, 2000).

Em contraste com os princípios de controle automático, a teoria da automação industrial foca em variáveis físicas e máquinas que estão em um dos dois estados (FESTUGATTO, 2006), por exemplo, “existe ou não um fluxo de líquido”, “a pressão atingiu o valor desejado ou não” ou “o pistão de ar comprimido foi estendido ou não”. Além disso, a automação industrial refere-se a dispositivos, máquinas e circuitos; e, em geral, máquinas integradas eletrônicas, eletromecânicas e eletropneumáticas, onde seu princípio de funcionamento é descrito a partir da lógica booleana e das respectivas interligações sequenciais entre as etapas de produção e as máquinas existentes nesse fluxo. No campo da automação, a ação de controle é restrita pela aplicação por dois atuadores de estado e, portanto, a ação de controle só pode ter os valores de LIGA ou DESLIGA. Sendo assim, a sequência do fluxo é responsabilidade dos dispositivos eletrônicos que definiram a ordem do processo através da comunicação com as máquinas integradas nele contidas.

Na Figura 4 é apresentado um simples processo de controle do nível de um líquido em um tanque. Nesse processo, assume-se que o abastecimento do líquido no tanque é fornecido por uma variável incontrolável, enquanto uma válvula está controlando a vazão de saída do líquido do tanque. Na configuração descrita, deseja-se que o nível do tanque seja mantido a uma altura específica, h_0 , independente do suprimento de líquido. Esse exemplo de automação é comum e muito usado nas indústrias atualmente. Trata-se de um controle automático focado em características específicas e críticas do processo.

Figura 4 – Exemplo de um sistema de controle automático.



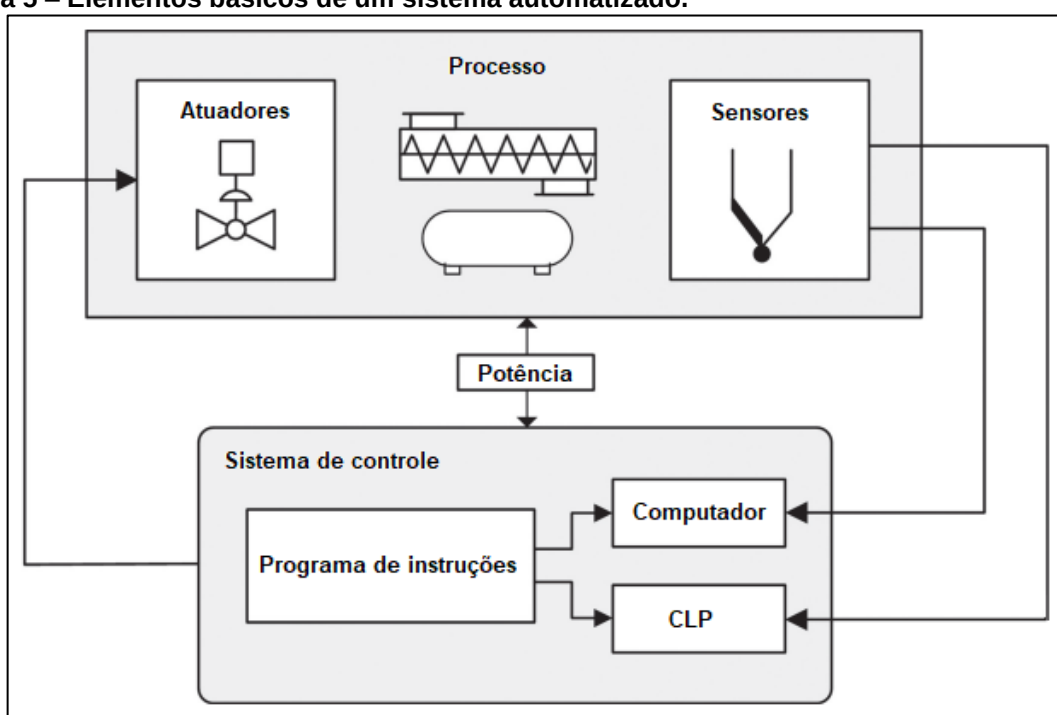
Fonte: Modificado de “Automação industrial”.

Para resolver este problema, após a obtenção inicial da altura especificada h_0 , o fluxo de saída deve ser igual ao fluxo de entrada. Para implementar esta lei de controle devido ao fato de que neste exemplo o fluxo de entrada não é medido diretamente, o esquema de controle deve ser capaz de medir o nível do líquido no tanque por um sensor de nível e, posteriormente, sintonizar adequadamente a válvula de saída. Neste caso, a válvula de saída não tem apenas dois estados “Totalmente aberta – Fluxo Q_{max} ” e “Totalmente fechada – 0 flow”, mas pode assumir qualquer tipo de valor de estado desejado, permitindo assim um fluxo dentro do espaço contínuo (0, Q_{max}). Na era da automação industrial clássica, este esquema de controle teria sido implementado por circuitos analógicos, enquanto agora é comumente implementado pela utilização de computadores e, mais especificamente, controladores lógicos programáveis, que são dispositivos computacionais projetados e configurados para operar em ambientes industriais (Nicoletti, 2013).

A era industrial foi iniciada pelos esforços para automatizar instalações industriais existentes como forma de melhorar a qualidade dos produtos produzidos e os volumes globais de produção, de acordo com Muchiri e Pintelon, (2008). Ao contrário do que geralmente se entende, a automação industrial não é uma descoberta do passado recente, mas é tão antiga quanto a própria indústria. Desde o início, o projetista de um sistema de produção industrial procurou alcançar uma operação mais autônoma possível, sempre baseada nas ferramentas industriais disponíveis. Os processos iniciais de produção industrial basearam sua operação nos olhos, mãos e

cérebro dos trabalhadores, como alternativas aos sensores, atuadores e unidades computacionais contemporâneas. Todas as atuais operações automatizadas de processos industriais são baseadas nesses três fatores (Lamb, 2013). Através dos sensores, os sinais de medições necessários são coletados do processo controlado, conforme apresentado na Figura 5. Posteriormente, essas informações são analisadas pela lógica de controle, rodando em uma unidade computacional e, na etapa final, as ações de controle interagem com o processo controlado, através do devido controle dos atuadores fornecidos.

Figura 5 – Elementos básicos de um sistema automatizado.



Fonte: Fonte: Modificado de “Industrial automation: Hands-on”.

Uma motivação fundamental para automação de um processo industrial é a viabilidade do empreendimento, e principalmente o lucro do negócio (MEDIDA, 2008), pode ser alcançado através dos seguintes objetivos:

- Aumento da produção;
- Redução de custos, principalmente pela redução de custo humano;
- Melhoria da qualidade do produto;
- Melhoria e aproveitamento da matéria-prima (redução da perda de materiais);
- Redução do consumo de energia.

Muitos outros benefícios secundários podem ser derivados da automação de um processo industrial, ou seja, segurança da planta, redução da poluição ambiental etc. Os objetivos da automação industrial são frequentemente difíceis de alcançar por várias razões, como limitações inerentes da planta, custos de implementação e situações gerais no mercado. Nicoletti (2013) afirma que apesar dessas dificuldades, tem sido o desenvolvimento contínuo da automação industrial do ponto de vista de ferramentas e métodos de controle. Consequentemente, os avanços na automação e controle tornaram possível o desenvolvimento de processos maiores e mais complexos de vários tipos (por exemplo, refino de petróleo e gás, química, farmacêutica, alimentos e bebidas, água e águas residuais, papel e celulose, mineração, ferro e aço, cimento etc.) trazendo assim inúmeros novos benefícios tecnológicos e econômicos.

A tarefa de controlar um processo industrial evoluiu muito nos últimos anos, partindo de uma operação manual completa, continuando na era do controle analógico e automação de baixo nível, e recentemente alcançando uma abordagem de controle e automação totalmente baseada em computador (FESTUGATTO, 2006). Antes da introdução eletrônica de estado sólido, o projetista de um processo industrial tem como objetivo fazer com que a automação opere o mais automaticamente possível com base nas diversas ferramentas instrumentais. A operação de forma automática fornece controle de produção e qualidade, gera segurança ao operador, bem como, reduz paradas, tempo ocioso, não conformidades e custos de retrabalho no processo. Shell (2000) e Lamb (2013) afirmam que após o surgimento de processadores digitais e a instrumentação eletrônica, ocorreu um rápido aumento em computadores de controle de processos e microcomputadores, especialmente em fábricas, o que mudou radicalmente a situação na área de controle e automação de processos industriais.

Segundo Rosário (2009), a tecnologia de um país é sua educação de qualidade, e a base de sustentação da economia e soberania de uma nação. O atual desenvolvimento da tecnologia e, em termos mais específicos da automação, levou ao surgimento de novas técnicas. Implementações de funcionalidades com finalidade de aperfeiçoar: produção industrial; operação de equipamentos; construção de dispositivos simples e baratos em larga escala e fornecer um benefício ao usuário final.

3.1.1 Controlador Lógico Programável

A respeito das tendências na produção, um dos aspectos mais importantes é a otimização tecnológica dos processos. Tecnologias modernas melhoram a eficiência dos processos (XU et. al., 2018). Na indústria faz-se uso e gerenciamento de indicadores que controlam o nível de qualidade, de eficiência e de produtividade dos processos de uma planta fabril.

O uso dos computadores digitais no controle automático é de fundamental importância para a infraestrutura tecnológica da indústria. A produção industrial, logística, comunicação e proteção ambiental depende amplamente do suporte dos computadores no controle dos sistemas. Sem nenhuma forma de controle, muito poucos sistemas poderiam operar, desde o trem ao reator nuclear. Computadores desempenham um papel importante nesse mérito; em muitas situações não existem soluções alternativas com controle de processo feito por computadores (OLSSON e PIANI, 1992).

Para descrever o papel específico feito pelos computadores em controle de processo, é necessário primeiro definir a significância dada pelo termo processo. Um processo físico é a combinação das operações com o intuito de agir, e mudar, o mundo físico. Movimento, reações químicas e transferência de calor são processos nesse sentido (OLSSON e PIANI, 1992). Os computadores são incluídos no processo com o importante papel de extração de parâmetros para análise comparativa. Bem como, controle automático e tomada de decisão para um processo padronizado. Esse tipo de automação digital influencia positivamente na produtividade e disponibilidade de linha.

Nicoletti (2013) declara a importância de promover automação de equipamentos para automação de processos. Um desenvolvimento importante é automatizar todo o processo ao invés de, somente alguns componentes. Uma análise compreensiva do processo produtivo não pode ser feita sem monitoramento constante. A automação de processos fornece métodos de controle que impactam positivamente na produção industrial (GUSKOVA e NEPOPUSHCHEVA, 2019).

Uma linha de produção composta por uma sequência de processos simples pode ser padronizada por um sistema automático. De acordo com Benetti et al. (2006), a padronização é o aspecto indispensável para aumento produtividade, ou seja, produção enxuta. A redução de parada numa linha impacta diretamente na

capacidade produtiva de um processo, reforça Monden (1998). Festugatto (2006), confirma que o aumento da disponibilidade de máquina, reduz intervalos ociosos na linha produtiva promovendo o balanceamento da linha.

A aplicação tecnológica tem como finalidade substituir processos manuais por processos automáticos. De acordo com Rosário (2009), todo processo que facilita as atividades manuais cotidianas pode ser considerado processo de automação. As empresas e a sociedade visam esta aplicação. O processo de produção composto por um ciclo, ou seja, atividades sequenciais repetidas, pode ser padronizado pela automação. De forma análoga, a detecção e correção de problemas operacionais também serão padronizados tornando viável a aplicação da automação. Rosário (2009) destaca em sua obra a importância de um sistema de supervisão. Segundo ele, esses sistemas garantem a monitoração e controle do processo de forma mais eficiente, disponibilizando em tempo real informações atualizadas sobre o que acontece na planta através de gráficos e relatórios fazendo com que operadores tomem a melhor decisão.

A automação do processo é levada em consideração para aumento da produtividade e suas implantações devem ser analisadas para garantir a viabilidade econômica do processo a ser automatizado. Um equipamento muito utilizado na automação é o CLP que nada mais é do que um processador, agregado a memórias, entradas e saídas digitais e analógicas com capacidade de processamento e comunicação com outros dispositivos, podendo ser instrumentos como painéis de operação, motores, sensores, chaves e válvulas, cilindros hidráulicos e cilindros pneumáticos (O'REGAN, 2008).

O controlador lógico programável é um equipamento eletrônico, digital, que pode realizar funções como controlar um processo ou uma máquina, ser programado facilmente e armazenar esse programa (SHELL, 2000). De uma maneira geral, o CLP é um equipamento que se assemelha a um computador (*hardware*) onde é possível inserir um programa (*software*) para controlar e monitorar cargas (dispositivos de saídas) de acordo com parâmetros enviados ao CLP (dispositivos de entradas).

O programa desenvolvido para um CLP é totalmente personalizável, composto por uma série de instruções ou funções específicas como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética. O que o torna o CLP um equipamento muito dinâmico, que pode ser usado em qualquer processo automático de acionamento e ou monitoramento de máquinas e processos.

3.2 Lean Manufacturing

Produção *Lean* (*Lean Manufacturing*) começou como *Toyota Production System* (TPS), em português, Sistema Toyota de Produção desenvolvida no século 40 em diante, primeiramente por Shigeo Shingo (1989) e Taiichi Ohno (1988), em Toyoda (agora Toyota), *Motor Company Car*. Toyoda começou com a produção de teares para a fabricação de roupas, e então ramificou para bicicletas antes da segunda guerra mundial. Naquele tempo, Toyoda (agora Toyota) começou a fabricação de motores, pequenos veículos de entrega, caminhões e carros. O pobre gerenciamento das decisões quase levou a companhia à falência (OHNO, 2019). Para retomar, a gerência sênior renunciou e mudou os planos. Eles trocaram o nome da companhia (Toyoda para Toyota), garantiu trabalhadores de emprego vitalício e iniciou um programa de melhoria agressiva para trabalhar à volta da empresa depois do quase esquecimento no mercado. As motivações para o Sistema Toyota de Produção estavam agora estabelecidas. Em breve as ferramentas e as técnicas começaram a surgir, o que aliviou as frustrações com as formas antigas e ineficientes, e permitiu que a Toyota atingisse suas metas de TPS (MONDEN, 2011).

Os engenheiros da Toyota olharam para Henry Ford – inventor da linha de montagem, Taylor – inventor da linha de montagem, Taylor – inventor do “Técnicas Modernas de Gestão e Engenharia Industrial”, e o Dr. W. Edwards Deming – “Pai da Gestão Moderna de Qualidade”. Com base nesses primórdios, as técnicas foram refinadas, aprimoradas em todas as áreas. Com a invasão norte-americana pela Volkswagen na década de 1960, e pela Toyota na década de 1970, e uma recessão mundial, a indústria automotiva americana estava em grandes mudanças e desestabilização. Os vigilantes automotivos norte-americanos estavam procurando uma explicação de como a Toyota poderia fabricar um carro, enviá-lo para a América do Norte e vendê-lo mais rápido e mais barato do que os veículos fabricados no país. As enormes tarifas de importação e as restrições de importação não impediram o fluxo desses carros baratos e desejáveis. Com o tempo, a qualidade dos veículos, como definidos por sua confiabilidade e vida útil na estrada, aumentaram rapidamente. Os veículos japoneses inovaram a uma taxa extremamente rápida, enquanto os veículos projetados e construídos da *N. American* tendiam a mudar a uma taxa muito lenta.

Há 5 anos, um projeto de pesquisa projetado pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT - *Massachusetts Institute of Technology*) foi iniciado para analisar a indústria automotiva mundial em 14 países, análise que revisa os conceitos de design, mercados e fabricação do setor. Em “A máquina que mudou o mundo”, o Dr. Womack e seu grupo do Programa Internacional de Veículos Motorizados (IMVP – *International Motor Vehicle Program*) no MIT, identificou as principais diferenças entre o TPS da Toyota, a indústria automobilística europeia e os sistemas tradicionais da América do Norte.

Em suma, norte-americanos e europeus assumiram e aceitaram a teoria da produção em massa e aperfeiçoaram-na com perfeição. Japão e Toyota usaram esse modelo de produtividade como ponto de partida e a evoluíram ainda mais ao TPS. Womack cunhou a frase “*Lean Manufacturing*” para incentivar a adoção de métodos TPS em todos os lugares (para os concorrentes admitirem que estavam tomando emprestado da Toyota não era nem viável, nem politicamente possível; a velha síndrome do “Não foi inventado aqui”), (Womack et al., 2007). Infelizmente, a maioria não percebeu que a Toyota tomou emprestado pesadamente os princípios de Henry Ford dos anos 1930. O livro de Henry Ford foi um best-seller no Japão bem divulgado, por outro lado, a existência do livro já estava esquecida na América do Norte.

Hoje, o *Lean Thinking*, em português, Pensamento *Lean* (revisado de forma que as mesmas técnicas podem ser usadas em bancos, serviços, organizações, hospitais e todos os tipos de sistemas de negócios) está sendo usado em todo o mundo em um número crescente de organizações. É aplicado no ponto de contato com os clientes, bem como no trabalho de bastidores. Aplica-se a escritórios de engenharia e design, bem como fluxo de tráfego em centros urbanos. Embora mais conhecido por suas ferramentas, a Produção Lean é antes de tudo uma filosofia e um modo de vida. É um compromisso contínuo com a melhoria e satisfação do cliente fundamentadas em mudanças planejadas, controladas e medidas em prol do tratamento eficaz de um problema ou da melhoria contínua.

Lean Manufacturing é um sistema que busca a perfeição. Metas comumente definidas são uma redução no tempo de espera e nos custos, ao mesmo tempo em que fornece entrega pontual de produtos e serviço de qualidade aos clientes. Não é, como muitos ironicamente descrevem, simplesmente um eufemismo para empurrar o estoque de volta ao fornecedor (Nicoletti, 2013). A Produção *Lean*, conhecida como produção enxuta, é um compromisso de toda a empresa e de toda a cadeia de

suprimento para: eliminação de todos os desperdícios, Figura 6; atendimento ao cliente e melhoria contínua.

Figura 6: Possíveis desperdícios na produção.



Fonte: Modificado de “The machine that changed the world”.

Muitas empresas se concentram nas ferramentas: Cinco S, Padronização de trabalho, Kaizen (melhoria contínua), Kanban (sinal), Poka-Yoke (prova de erros), *Single-minute Exchange of Die* (SMED), em português, Troca Rápida de Ferramenta e TPM (Manutenção Produtiva Total). As ferramentas em si, contudo, não são o ponto, nem a proposta do *Lean*. As ferramentas são meramente um caminho para o fim, e um entendimento claro do fim é crucial para o sucesso da produção enxuta. Uma empresa em transição para a manufatura enxuta não terá uma base sólida de suporte em manutenção sem antes implementar mudanças fundamentais na operação de manutenção. Os elementos de fundação, em particular a TPM, devem estar em vigor antes que uma organização possa efetivamente construir a pirâmide de gerenciamento de manutenção em elementos como manutenção autônoma e antes que possa sustentar a melhoria contínua. A manutenção enxuta é um pré-requisito para o sucesso como um fabricante enxuto (Mather, 2005).

A manutenção enxuta é definida como uma operação de manutenção empregando atividades de manutenção planejadas e programadas práticas de TPM. Usa estratégias de manutenção desenvolvidas através da aplicação da lógica de decisão de Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM), proveniente do termo inglês *Reliability Centered Maintenance*. É praticada por equipes de ação capacitadas (autodirigidas) usando o processo 5S, eventos de melhoria semanal Kaizen e manutenção autônoma, realizada por técnicos de manutenção multi qualificados

(BALUCH, 2012). A manutenção autônoma é executada através do uso comprometido de seu sistema de ordem de serviço (OS) e gerenciado por um sistema de manutenção computadorizado (CMMS – *Computerized Maintenance Management System*) ou sistema de gerenciamento de ativos corporativos (EAM – *Enterprise Asset Management*).

O apoio ao time de manutenção é composto por um almoxarifado distribuído de manutenção enxuta MRO (Manutenção, Reparos e Operações) que fornece as peças e materiais dentro do prazo. De acordo com Olilla (1999), o MRO é conhecido por ser um sistema concluído dentro dos prazos estabelecidos e apoiado por um grupo de engenharia de manutenção e confiabilidade. Tal grupo executa *Root Cause Analysis* (RCA), em português, análise de causa raiz, análise de peças com falha, análise de eficácia do procedimento de manutenção, manutenção preditiva e análise de tendências e resultados de monitoramento de condições, isso é manutenção enxuta.

Durante a última década, o fenômeno “*Lean*” permitiu que as indústrias manufatureiras aumentassem consideravelmente seus níveis de rentabilidade e produtividade (SHARMA, 2012). O *Lean*, aliado a outras iniciativas, como a TPM, permitiu que essas empresas focassem na eficiência de seus processos produtivos; eficiência como sendo “produtiva sem desperdício” (PRAMOD. et al., 2007). Recentemente temos visto muitas consultorias e empresas falando sobre “Manutenção Enxuta”, uma tentativa de trazer a mesma abordagem de melhoria de eficiência para o mundo do gerenciamento de ativos físicos.

3.3 Manutenção Produtiva Total (TPM)

A Manutenção Produtiva Total, como o nome sugere, consiste em três palavras:

- Manutenção, significa manter os equipamentos, de forma autônoma, operadores de produção, em boas condições – reparam, limpam, engraxam e aceitam gastar o tempo necessário nisso;
- Produtiva, enfatiza a tentativa de fazê-lo enquanto a produção contínua e minimiza os problemas de produção;
- Total, significa considerar cada aspecto e envolvendo todos de cima para baixo.

Nakajima (1989), um dos principais contribuintes da TPM, a definiu como uma abordagem inovadora para manutenção que otimiza a eficácia do equipamento, elimina avarias e promove a manutenção autônoma pelos operadores através das atividades do dia a dia envolvendo toda a força de trabalho. Segundo Chaneski (2002), a TPM é um programa de gerenciamento de manutenção com objetivo de eliminar o tempo de inatividade dos equipamentos. No entanto, a TPM não é uma política específica de manutenção; é uma cultura, uma filosofia e uma nova atitude em relação à manutenção.

TPM descreve uma relação entre produção e manutenção, para melhoria contínua da qualidade do produto, eficiência operacional, capacidade, garantia e segurança (Nakajima, 1988); é uma estratégia agressiva que se concentra em realmente melhorar a função e o design do equipamento de produção (Swanson, 2001). TPM tem sido aceita como a estratégia mais promissora para melhorar o desempenho da manutenção, a fim de ter sucesso em uma arena de mercado altamente exigente (Nakajima, 1988).

Ahuja et al. (2008) relatam que a implementação da TPM pode contribuir significativamente para a melhoria do comportamento organizacional nas empresas manufatureiras; levando à competitividade a classe mundial; também é considerado uma iniciativa de melhoria estratégica eficaz para melhorar a qualidade nas atividades de engenharia e manutenção (Ollila e Malmipuro, 2009 e Pramod et al., 2007). Outro resultado estratégico das implementações da TPM é a redução da ocorrência de quebras inesperadas de máquinas que interrompem a produção e levam a perdas, que podem ultrapassar milhões de dólares anualmente (Gosavi, 2006). De acordo com Willmott (1994) e Noon et al. (2000), existem três objetivos finais da TPM:

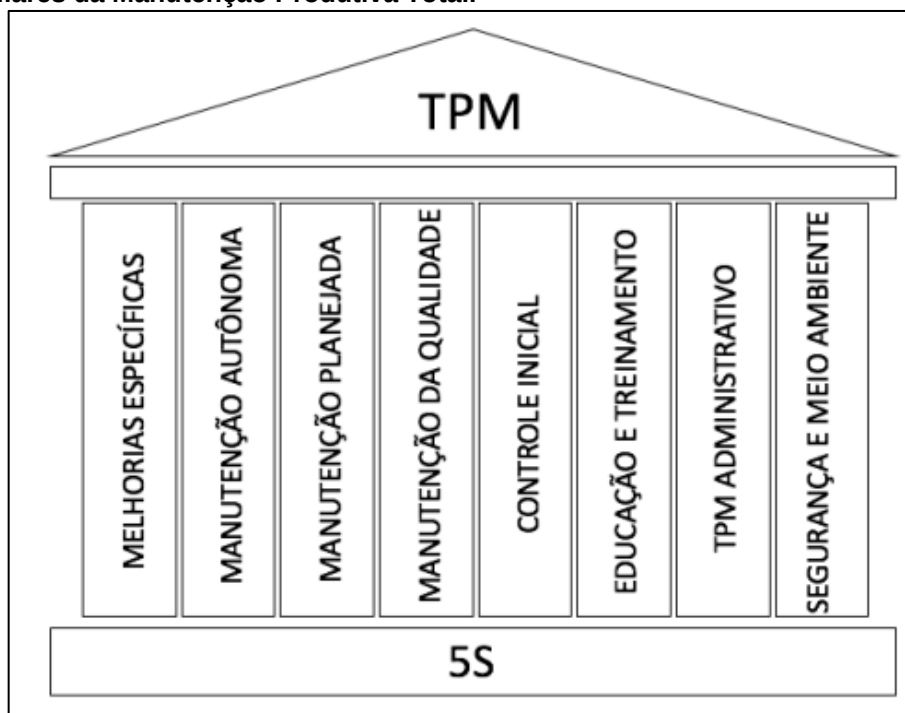
- Zero acidentes;
- Zero avarias;
- Zero defeitos.

Desde que as deficiências das estratégias de manutenção RCM e TPM se tornaram aparentes na década de 1990, a estratégia de manutenção enxuta surgiu como uma estratégia de manutenção eficaz. No entanto, a manutenção enxuta não é um subconjunto, nem uma derivação da manutenção enxuta. Abdullah et al. afirma ser um pré-requisito para o sucesso, como um fabricante *lean* que fornece uma abordagem abrangente da função de manutenção. À medida que o conceito “enxuto” vem se consolidando no setor manufatureiro, há uma percepção crescente de que a

manutenção não deve ser vista apenas em contexto operacional, lidando com falha de equipamento e suas consequências. Pelo contrário, a manutenção deve ser vista no contexto estratégico de longo prazo e deve integrar as diferentes questões técnicas e comerciais de forma eficaz.

A Figura 7 mostra que na base de cada um dos pilares encontra-se a metodologia 5S, que é o ponto de partida na adoção de comportamentos que permitam implementar uma política de melhoria contínua (SWANSON, 2001). De forma muito simplista, a metodologia 5S assenta no princípio de que para tudo existe um lugar, em que algo só deverá ser considerado no lugar quando ele se encontra limpo, arrumado e pronto a ser usado.

Figura 7: Pilares da Manutenção Produtiva Total.



Fonte: Autoria própria.

3.3.15S

Pode ser chamado de pedra fundamental da implementação do TPM, por ser um programa básico antes da implementação do TPM. É um processo sistemático de limpeza para alcançar um ambiente sereno no local de trabalho, envolvendo os funcionários com o compromisso de implementar e praticar a manutenção do local. Um programa de gestão de origem japonesa que reitera que os problemas não podem ser reconhecidos se o local de trabalho estiver desorganizado. Limpar e organizar o

local de trabalho colabora na detecção de problemas. (Ahuja e Khamba, 2008). Sendo assim, tornar os problemas visíveis é o primeiro passo da melhoria.

Nakajima (1988) diz que para a implementação do 5S, a situação atual do local de trabalho deve ser estudada através da realização de uma auditoria de 5S. Os parâmetros verificados nesta etapa são exatamente os 5 sentidos, que representam os 5S em si, Tabela 1. Registra-se a situação atual de cada S atual do local de trabalho e então é feito o monitoramento regular do programa.

Tabela 1: Significado 5S.

Termo japonês	Tradução equivalente	Atividade relacionada
Seiri	Selecionar	Separar e descartar itens desnecessários do local de trabalho
Seiton	Sistematizar	Organizar os itens necessários, em boa ordem, para que possam ser facilmente identificados e alcançados para uso
Seiso	Limpar	Limpar o local de trabalho completamente para torná-lo livre de poeira, sujeira e desordem
Seiketsu	Padronizar	Manter o alto padrão de organização do local de trabalho
Shitsuke	Sustentar	Treinar e motivar as pessoas a seguir boas disciplinas de limpeza de forma autônoma.

Fonte: “Linking maintenance strategies to performance”, 2001.

O ideal é que haja o histórico da evolução dos sentidos para que seja possível a análise quantitativa da melhoria, bem como, os pontos de falha recorrentes para um diagnóstico assertivo (MEDIDA, 2008). O não cumprimento da metodologia 5S gera atrasos, defeitos, clientes insatisfeitos, despesas e funcionários desmoralizados.

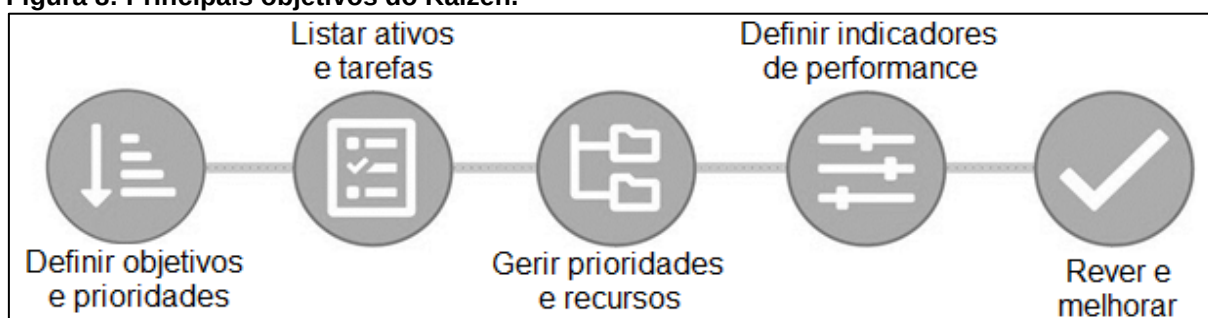
O conceito de TPM é implementado de forma faseada, em cada fase é implementado um pilar TPM. A eficácia geral do equipamento (OEE) é tomada como uma medida de sucesso na implementação do TPM (OLSSON e PIANI, 1992). A abordagem de implementação de cada pilar é discutida nas subseções seguintes.

3.3.2 Primeiro Pilar: Melhorias Específicas

De origem japonesa, Kaizen é composta por dois ideogramas: “Kai”, que significa mudança, e “Zen”, que significa bom (para melhor). Basicamente, o Kaizen é para pequenas melhorias, mas realizadas de forma contínua envolvendo todas as pessoas da organização. Kaizen é composto de grandes inovações espetaculares e requer pouco ou nenhum investimento. O princípio por trás é que “um número muito grande de pequenas melhorias é mais eficaz em um ambiente organizacional do que algumas melhorias de grande valor”. Esse pilar visa reduzir as perdas no ambiente de trabalho que afetam nossa eficiência. Utilizando um procedimento detalhado e minucioso eliminamos as perdas de forma sistemática utilizando diversas ferramentas Kaizen. Essas atividades não se limitam às áreas de produção, podendo ser implementadas também nas áreas administrativas.

A política Kaizen são conceitos práticos de perdas zero em todas as esferas de atividade, busca incansável; para atingir metas de redução de custos em todos os recursos, para melhorar a eficácia de todos os equipamentos da planta, uso extensivo de análise de manutenção planejada como ferramenta para eliminar perdas e focar na facilidade de manuseio dos operadores. A área alvo Kaizen atinge e sustenta zero perdas em relação a pequenas paradas, medições e ajustes, defeitos e paradas inevitáveis. Também visa alcançar uma redução de 30% nos custos de fabricação.

Figura 8: Principais objetivos do Kaizen.



Fonte: Autoria própria.

As ferramentas usadas no Kaizen são: 5 por quês, Poka-Yoke (um termo japonês que significa “prova de erros” ou “prevenção de erros”), resumo de perdas, registro de Kaizen e folha de resumo Kaizen. O objetivo do TPM é maximizar a eficácia do equipamento. O TPM visa a maximização da utilização da máquina e não apenas a maximização da disponibilidade da máquina. Como um dos pilares da atividade de TPM, o Kaizen busca equipamentos, operadores, materiais e utilização de energia

eficientes que são extremos de produtividade e visam alcançar efeitos substanciais. As atividades Kaizen tentam eliminar completamente as perdas.

As seis principais perdas identificadas são (Nakajima, 1988):

- Falha de equipamento;
- Configuração de equipamento;
- Ajustes de equipamentos;
- Pequenas paradas;
- Perdas de velocidade durante a produção;
- Perdas durante o aquecimento.

3.3.3 Segundo Pilar: Manutenção Autônoma

Este pilar está voltado para o desenvolvimento de operadores para serem capazes de cuidar de pequenas tarefas de manutenção, liberando assim o pessoal de manutenção qualificado para dedicar tempo a atividades de maior valor agregado e reparos técnicos. Os operadores são responsáveis pela manutenção de seus equipamentos para evitar que se deteriorem. A política da manutenção autônoma é uma operação ininterrupta de equipamentos, operadores flexíveis para operar e manter outros equipamentos e eliminar os defeitos da origem por meio da participação ativa dos funcionários. As etapas em manutenção autônoma são:

- Preparação de funcionários;
- Limpeza inicial das máquinas;
- Tomar contramedidas;
- Fixar padrões provisórios de manutenção autônoma;
- Inspeção geral;
- Inspeção autônoma;
- Padronização.

3.3.4 Terceiro Pilar: Manutenção Planejada

Destina-se a ter máquinas sem problemas produzindo produtos sem defeitos para satisfação total do cliente. Isso divide a manutenção em quatro “famílias” ou grupos, a saber:

- Manutenção preventiva;

- Manutenção corretiva planejada;
- Manutenção corretiva não-planejada;
- Manutenção preditiva.

Com a manutenção planejada, evoluímos nossos esforços de um método reativo para um proativo e usamos pessoal de manutenção treinado para ajudar a treinar operadores para manterem melhor seus equipamentos. Na política da manutenção planejada, as áreas atingem e sustentam a disponibilidade das máquinas, o custo ideal da manutenção, reduzem o estoque de peças sobressalentes e melhoram a confiabilidade e a capacidade de manutenção das máquinas.

As metas da manutenção planejada são zero falhas e quebras de equipamentos, melhorar a confiabilidade e a capacidade de manutenção em 50%, reduzir o custo de manutenção em 20% e garantir a disponibilidade de peças sobressalentes o tempo todo.

Seis etapas na manutenção planejada são:

- 1) Avaliação do equipamento e recodificação do status atual;
- 2) Restaurar a deterioração e melhorar a fraqueza;
- 3) Construção do sistema de gestão da informação;
- 4) Preparar sistema de informação baseado no tempo;
- 5) Selecionar equipamentos, peças e membros e traçar o plano;
- 6) Preparar sistema de manutenção preditiva introduzindo técnicas de diagnósticos de equipamentos e avaliação da manutenção planejada.

3.3.5 Quarto Pilar: Manutenção de Qualidade

Tem como foco a satisfação do cliente por meio da mais alta qualidade através de uma fabricação livre de defeitos. O foco está na eliminação de não conformidades de maneira sistemática, assim como na melhoria focada. O entendimento de quais partes do equipamento afetam a qualidade do produto permite o aperfeiçoamento da produção com resultados satisfatórios no produto acabado. A transição é de reativo para proativo (controle de qualidade para garantia de qualidade).

As atividades de manutenção de qualidade estabelecem as condições dos equipamentos para evitar defeitos de qualidade relacionados ao desempenho dele, com base no conceito básico de manter equipamentos perfeitos para manter a qualidade perfeita. A verificação das condições é feita em séries temporais para

garantir que os valores medidos estejam dentro dos padrões para evitar defeitos. Os valores medidos se tornam históricos para observações, previsão de ocorrência de defeitos, tomada de medidas preventivas e monitoramento da vida útil.

Dentre as políticas de manutenção de qualidade, podem ser citadas: condições livres de defeitos, controle de equipamentos; atividades de manutenção de qualidade; foco na prevenção na origem dos defeitos; foco em Poka-Yoke (sistema à prova de falhas), detecção e segregação de defeitos em linha; implementação da garantia de qualidade do operador. As metas da manutenção de qualidade são:

- Atingir e sustentar as reclamações dos clientes em zero;
- Reduzir os defeitos no processo em 50%;
- Reduzir o custo com qualidade em 50%.

3.3.6 Quinto Pilar: Controle Inicial

Na manutenção, o planejamento também é uma peça-chave para aumentar a confiabilidade dos processos. Afinal, ter uma parada no meio da produção é um problema que trará riscos financeiros para a empresa. Com um planejamento adequado, há aumento na qualidade, redução dos custos, aumento na produtividade, entre vários outros benefícios. Nessa fase, elabora-se projetos que abrangem problemas que já foram vivenciados em outra época dentro da empresa. O projeto deste pilar também pode trazer melhorias que são necessárias para solucionar problemas corriqueiros e assim minimizar ao máximo as perdas ou os desperdícios.

Com o projeto finalizado, é a hora de desenvolver novos produtos ou processos, focando em equipamentos fáceis de operar. Itens importantes como o índice de confiabilidade de equipamentos e sistemas, prever as primeiras falhas, as condições de manutenibilidade ou resíduos que serão gerados pelos equipamentos, redução de riscos de acidentes, tudo isso pode vir no projeto e promoverá importantes impactos nos processos da empresa gerando mais competitividade e lucratividade. Todas as ações propostas por este pilar buscam antecipar possíveis problemas no projeto preparando assim o setor de manutenção para acompanhar o maquinário ao longo da sua vida útil.

O controle inicial também conhecido por gestão antecipada, melhorias no projeto ou melhorias antecipadas, se caracteriza por atividades de melhorias que se realizam ainda na fase inicial do projeto, ou seja, no desenho, construção e

planejamento dos equipamentos. A partir do conhecimento adquirido e de todas as práticas realizadas nos pilares anteriores, é possível aplicar o controle inicial e garantir um sistema mais eficiente. Através deste pilar, a empresa consegue implantar processos que vão facilitar a operação dos equipamentos e, conseqüentemente, o processo produtivo se dará de forma mais simplificada. Conhecendo toda a manutenção do equipamento, o seu funcionamento, sabendo em detalhes quando ocorreram as falhas e porque elas ocorreram, é possível construir um projeto que vise um aumento na eficiência delas, o que vai refletir na diminuição de custos e aumento da produtividade.

A aplicação correta do Controle Inicial permite a adoção de ações de prevenção e planejamento mais estruturado em todos os setores da empresa através da prática de registrar as melhorias e todos os históricos de resultados. Desta forma, estas informações podem ser incrementadas em novos projetos, garantindo assim uma produção de qualidade. Através da adoção do Controle Inicial, todos os projetos executados estarão em conformidade com a metodologia da TPM objetivando sempre a otimização do desempenho dos equipamentos e a prevenção de paradas inesperadas. As experiências anteriores são usadas para garantir que os novos equipamentos atinjam o seu pico de desempenho no menor tempo possível. Outro objetivo do controle inicial é alcançar ao máximo o rendimento das máquinas, minimizando o custo de ciclo de vida.

3.3.7 Sexto Pilar: Educação e Treinamento

Objetiva ter funcionários realizados e multi qualificados, com moral elevada e ansiosos para trabalhar e desempenhar todas as funções necessárias de forma eficaz e independente. Os treinamentos são dados aos operadores para atualização de suas habilidades. Não basta apenas “saber como” (*know-how*) para aprender também o “saber por quê” (*know-why*). Pela experiência é adquirido “*know-how*” para superar um problema do que fazer. Pelo treino é desenvolvido o “*know-why*”. Os funcionários devem ser treinados para atingir as quatro fases da habilidade. O objetivo é criar um ambiente de especialistas. As fases, diferentes das habilidades são divididas por:

- 1) a fase do não sei;
- 2) a fase do conhece a teoria, mas não pode fazer;
- 3) a fase do pode fazer, mas não pode ensinar;

4) a fase do pode fazer e ensinar.

As políticas de treinamento são focadas na melhoria do conhecimento, habilidades técnicas, criando um ambiente de treinamento para autoaprendizagem com base nas necessidades sentidas, currículo de treinamento incluindo ferramentas, avaliações etc. útil a fim de energizar os estudos dos funcionários e treinamento para remover a fadiga e tornar o trabalho agradável.

3.3.8 Sétimo Pilar: TPM Administrativo

Esse recurso deve ser iniciado após a implementação de outros quatro pilares: Manutenção Autônoma, Kaizen, Manutenção Planejada e Manutenção de Qualidade. A administração deve ser aplicada para melhora de produtividade e eficiência no gerenciamento das funções: identificar e eliminar perdas. Isso inclui analisar processos e procedimentos através da automação no escritório.

Esse pilar trata doze grandes perdas, são perdas de processamento; perda de custos, inclusive em áreas como compras, contas, marketing, vendas, levando a estoques elevados; perda de comunicação; perda ociosa; perda de configuração; perda de precisão; avaria do equipamento de escritório; avaria dos canais de comunicação, linhas telefônicas e internet; tempo gasto na recuperação de informações; indisponibilidade do status correto do estoque on-line; reclamações de clientes a respeito da logística e despesas com despachos e compras emergenciais.

A gestão adequada oferece como benefícios; o envolvimento de todas as pessoas nas funções de suporte para focar no melhor desempenho da planta, melhor utilização da área de trabalho, redução de retrabalho, redução de custos administrativos, redução de documentação desnecessária, redução de reclamações tornando um ambiente organizado e agradável.

3.3.9 Oitavo Pilar: Segurança, Saúde e Meio Ambiente

Nesta área, o foco é criar um local de trabalho seguro e uma área circundante que não seja danificada por processos ou procedimentos. Este pilar desempenha um papel ativo em cada um dos outros pilares regularmente. A meta de segurança, saúde e meio ambiente é zero acidentes, zero danos à saúde e zero incêndios.

Para esse pilar, é constituído um comitê, composto por representantes de diretores e trabalhadores. O comitê é chefiado pelo vice-presidente sênior (técnico). A maior importância para a segurança é dada na planta. O gerente cuida das funções relacionadas à segurança para conscientizar os funcionários, como atividades, slogans de segurança, questionários, cartazes e competições descontraídas. O resultado desses elementos trabalhados juntos para melhorar o desempenho e a confiabilidade do equipamento, em poucas palavras, é a TPM. Os oito pilares estão inter relacionados e projetados para apoiar uns aos outros. Talvez seja a falta dessa abordagem abrangente que resultou no abandono de 50% das iniciativas de TPM desde que foi introduzida nos EUA em 1986, (Williamson, 2001).

A lógica por trás da TPM pode ser compreendida mais facilmente através do entendimento do Sistema Toyota de Produção, a tradição por trás dele. Mas, até recentemente, era difícil encontrar uma definição funcional do Sistema Toyota de Produção. Isso porque este sistema é o resultado acumulado de um processo de tentativa e erro ao longo de cinco décadas e nunca foi escrito. Felizmente, dois pesquisadores de Harvard, H. Kent Bowen e Steven Spear, passaram quatro anos estudando este sistema e publicaram suas descobertas. Em seu artigo “Decodificando o DNA do Sistema Toyota de Produção” os autores isolam as seguintes quatro regras que regem o sistema (Bowen e Spear, 1999):

- 1) Todo trabalho deve ser altamente especificado quanto ao conteúdo, sequência, tempo e resultado;
- 2) Toda conexão cliente-fornecedor deve ser direta e deve haver uma maneira inequívoca de enviar solicitações e receber respostas;
- 3) O caminho para cada produto e serviço deve ser simples e direto;
- 4) Qualquer melhoria deve ser feita de acordo com o método científico sob a orientação de um professor.

As três primeiras regras ilustram os processos reais da TPM e quais papéis cada pessoa envolvida na manutenção deve jogar. A quarta regra expande essa estrutura para comentar sobre como resolver problemas e melhorar atuação. Com isso em mente, a primeira regra, “todo trabalho deve ser altamente especificado quanto ao conteúdo sequência, tempo e resultado”, dita que qualquer coisa feita para manter e melhorar o equipamento deve ser documentada em procedimentos que todo funcionário segue. Esta documentação deve incluir informações detalhadas sobre as peças utilizadas, horas de trabalho envolvidas, descrições dos problemas que

surgiram, as causas-raiz estimadas dos problemas e as medidas corretivas tomadas para conter os prejuízos. Isso também significa que o trabalho de manutenção é regido por rotinas de manutenção planejada, planejamento conjunto de produção e manutenção e reuniões de status frequentes mantêm os esforços concentrados.

A segunda regra “toda conexão cliente-fornecedor deve ser direta e deve haver uma maneira inequívoca de enviar solicitações e receber respostas”, significa que ferramentas, peças e suprimentos de manutenção sejam disponibilizados de forma adequada e conforme necessário. Também significa que as peças de reposição são mantidas adequadamente e que as solicitações de manutenção são enviadas e reconhecidas prontamente. Sistemas visuais e sinais podem ser usados para eliminar explicações e leituras longas. Sistemas visuais e sinais podem ser usados para eliminar explicações e leituras longas. Por último, quando forem feitas as devidas reparações ou melhorias, aqueles que as solicitaram devem conferir e assinar o relatório final.

A terceira regra, que afirma que “o caminho para todo produto e serviço deve ser simples e direto exige que cada operador de equipamento saiba onde exatamente procurar ajuda com um problema de equipamento. Por extensão, isto significa que cada pessoa de manutenção sabe em que equipamento está qualificado a trabalhar e onde pode obter ajuda quando um problema excede sua experiência. Finalmente, esta regra exige que as documentações para equipamentos específicos permaneçam acessíveis a quem deles precisa.

A quarta regra, “qualquer melhoria deve ser feita de acordo com o método científico, sob a orientação de um professor” indica que os dados devem ser coletados, analisados e disponibilizados para tornar as melhorias mais eficientes e eficazes. Além disso, pessoas informadas mais próximas do problema devem elaborar possíveis soluções e realizar experimentos para determinar a funcionalidade de suas soluções. Aplicar a lógica desta regra também requer que solucionadores de problemas experientes e treinados liderem o esforço de melhoria e que mudanças sejam feitas no equipamento e processos de trabalho de apoio onde as pessoas envolvidas sejam treinadas nos novos métodos.

As quatro regras descritas acima definem a abordagem disciplinada que a Manutenção Produtiva Total exige para produzir os melhores resultados. Implementar a TPM significa lutar por uma visão da situação ideal de fabricação: uma visão que engloba: zero avarias, zero defeitos e zero acidentes. Estas três categorias principais

de perdas relacionadas a equipamentos: tempo de inatividade, perda de velocidade e defeito ou perda de qualidade – também são os principais ingredientes para determinar o OEE.

Como se pode ver, é necessária muita disciplina no local de trabalho para sustentar a aplicação das estratégias de TPM. Campos tão diversos como montagem de aeronaves, exploração de petróleo e até manutenção de equipamentos de corrida colocaram em prática estratégias TPM com sucesso, sendo o único ponto em comum o alto grau de disciplina que cada uma dessas vocações exige.

3.4 Eficácia Geral do Equipamento (OEE)

Uma das mais importantes ferramentas da filosofia TPM é a OEE, em inglês, *Overall Equipment Effectiveness*, representa a eficácia geral do equipamento. O indicador OEE é o resultado da multiplicação de três parâmetros que possuem papel fundamental na filosofia TPM (Fuentes, 2006; Muchiri and Pintelon, 2008). Bariani e Del'Arco Júnior (2006) e Maran et al. (2012) definem os parâmetros como:

- Disponibilidade: É a porcentagem do tempo no qual algum equipamento está disponível para operação em comparação com a quantidade de tempo no qual está programado para operar;
- Performance: É quão próximo a operação do equipamento está em relação ao ciclo ideal de produção;
- Qualidade: É a quantidade total de produto conforme produzido em comparação a quantidade total de produto produzido.

O entendimento deste indicador esclarece a importância de medir o desempenho dos processos, em sua maioria industriais, para realizar atividades de melhoria. Não há dúvida sobre a importância das medidas de desempenho. As medidas de desempenho devem ser criadas em uma base bem definida, a fim de obter as atividades de melhoria corretas. Se a medida de desempenho não for a correta, o ponto de ajuste ou valor de referência pode estar errado e, como resultado, o controle ou melhoria não funcionará satisfatoriamente. Um desenvolvimento adicional de medidas de desempenho precisa de uma base comum.

Com base no conceito de eficácia geral do equipamento como proposto por Nakajima, a associação global da indústria, Equipamentos e Materiais Semicondutores Internacional (*Semiconductor Equipment and Material International* –

SEMI) desenvolveu um padrão para definição e medição da produtividade do equipamento. A norma é direcionada para medir a eficácia dos equipamentos. A SEMI chama essa métrica de eficiência geral do equipamento (OEE), que tem sido amplamente aceita na indústria. Como o OEE é uma métrica geral simples e clara, os gerentes apreciam essa métrica agregada em vez de muitas métricas detalhadas. O conceito de OEE está se tornando cada vez mais popular, afirma Huang et. al. (2003), e tem sido amplamente utilizado como uma ferramenta quantitativa essencial para a medição da produtividade em operações de fabricação, devido a um investimento em instalações de limitação de capacidade. Eles também dizem que as métricas tradicionais para medir produtividade, o rendimento e a utilização são insuficientes para identificar os problemas e as melhorias subjacentes necessárias para aumentar a produtividade.

A análise da eficiência do sistema de produção é um tópico relevante nas indústrias devido ao impacto na redução de gastos e melhora na produtividade, lucratividade e qualidade. Ao monitorar, analisar e calcular a eficiência produtiva dos recursos, é possível conhecer suas reais eficiências. Com o objetivo elaborar planos de ações e soluções para os principais motivos de ineficiência de produção (Passos et al., 2004). Uma vez que as informações para o cálculo correto da eficiência dos recursos estão disponíveis no sistema corporativo, é necessário compilar e analisar os dados dos recursos. A adoção de um sistema de medição confiável e o gerenciamento eficaz dos parâmetros chave são capazes de contribuir para o aumento da produtividade das áreas multifuncionais e da planta (Hansen, 2006).

O valor ideal para o indicador de eficácia geral do equipamento varia de acordo com a empresa, contudo, nos estudos, Hansen (2006) indica que em processos industriais a literatura diz que o OEE do equipamento deve ser maior que 85% para processos em lote para uma produção eficiente. De forma que os limites sejam:

- disponibilidade maior que 90%
- performance maior que 95%
- qualidade maior que 99%.

A Figura 9 e a Tabela 2 mostram cada parâmetro e as principais falhas que podem interferir sua performance:

Figura 9: Variáveis necessárias para análise da Eficácia Geral do Equipamento.



Fonte: Adaptado de Setec Consulting Group, 2008.

Tabela 2: Explicação dos parâmetros do indicador de Eficácia Geral do Equipamento.

Indicadores	Principais desperdícios
Disponibilidade	• Paradas identificadas • Falha de equipamento e uso de ferramentas • Desperdício devido ajustes e configurações
Performance	• Desperdício devido baixa velocidade • Paradas convencionais e paradas curtas
Qualidade	• Perda de qualidade • Desperdício de processo

Fonte: Adaptado de Setec Consulting Group, 2008.

A eficácia geral do equipamento pode ser representada pela Figura 10:

Figura 10: Equação para cálculo da Eficácia Geral do Equipamento.

$$\frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E} = OEE$$

DISPONIBILIDADE PERFORMANCE QUALIDADE

Fonte: Adaptado de Setec Consulting Group, 2008.

O indicador OEE sinaliza para os responsáveis da manutenção onde se encontra a maior fonte de desperdício que necessita atenção para melhoria da performance (Fuentes, 2006; Bariani and Del'Arco Júnior, 2006).

De acordo com Bariani e Del’Arco Junior (2006, p. 72):

“O OEE mede a habilidade do equipamento na constância de produção de peças em relação aos padrões de qualidade em um designado tempo de ciclo e sem paradas, com a taxa de disponibilidade, performance e qualidade da máquina. Isso fornece um método que analisa desperdícios e mede os resultados das medidas tomadas.”

De Ron e Rooda (2006) pontua algumas considerações importantes sobre o OEE. De acordo com suas pesquisas, o indicador não leva em conta todos os fatores que reduzem a capacidade de uso, como por exemplo: paradas planejadas, falta de matéria prima para produzir e falta de energia.

Hansen (2006), De Ron and Rooda (2006) e Sharma et al. (2012) confirmam que a acurácia do OEE é determinada pela qualidade dos dados coletados. Os autores também corroboram que o OEE sofre os impactos dos indicadores além do equipamento em si (o operador, a formulação do produto, a disponibilidade de matéria prima, programação exigida), mostrando-se ser útil em ambientes de produção onde o equipamento é usado de forma integrada.

3.5 Suporte à Execução de Fabricação (MES)

MES é uma sigla referente ao termo inglês *Manufacturing Execution Support* é uma metodologia para automação integrada de plantas de produção em lote em indústrias de processo. Ele combina controle de processo na área de produção e vincula os processos de produção com as atividades de empreendimento. Em plantas de bateladas² tradicionais, a maioria dos registros dos processos descritos são feitas com papel e lápis.

Em cenários avançados encontramos soluções de software independentes para dar suporte a tarefas. As informações entre as áreas de trabalho são trocadas usando telefone, software corporativo e formulários em papel. Em ambientes de produção altamente flexíveis, mesmo o processo de produção pode ser executado manualmente ou semiautomatizado.

² Carga, em quilos, que um batel transporta. Um lote pode ter “X” bateladas, em unidades, valor determinado pela própria indústria. Não existe valor padrão na literatura para essas medidas.

Em consequência, o progresso de trabalho na planta torna-se muito turvo. As desvantagens resultantes são evidentes:

- Informações sobre estoques de material não está atualizado;
- Não há suporte em reserva e alocação de material para a produção em lotes planejada;
- Informações necessárias atrasadas para prosseguir com o processo;
- Histórico inconclusivo devido à desorganização e até perda de informações;
- Uso de grandes quantidades de papel, mas a avaliação é praticamente impossível.

Agora é evidente que há atrito nos negócios de processos, e o sistema MES é o lubrificante. O propósito dele é reunir informações estruturadas em todas as diferentes áreas e disponibilizar essas informações para os outros participantes do processo. Cada entrada de informação causa um evento neste sistema, que afeta uma saída em outra área de trabalho.

Se considerarmos o processo da planta como um processo discreto a eventos, o sistema MES pode ser considerado como o sistema de controle de processos. É um aplicativo de software baseado em um banco de dados estruturado representando os elementos dos processos na planta.

Os itens básicos das plantas representados neste banco de dados são:

- Dados mestre de materiais (matérias-primas e produtos);
- Equipamentos, incluindo sua eficácia de processamento e capacidade;
- Receitas (lista de materiais e procedimentos);
- Estoques (quantidades por local de armazenamento);
- Ordens de produção (produto, quantidade, equipamento, data de vencimento);
- Planos de inspeção, ordens de inspeção e informação de qualidade;
- Registro de lote.

O sistema MES tem um conjunto de funções para gravar e classificar essas informações. Dentre as principais funções dessa ferramenta, os domínios operacionais do MES são os seguintes:

3.5.1 Gerenciamento de Material

A gestão de materiais é uma função chave do MES. A entrada e saída de material, o consumo de matéria-prima e o rendimento da produção são registrados e armazenados em um banco de dados. A qualquer momento, as informações sobre quantidade, local de armazenamento e número de lote de materiais estão disponíveis para o pessoal da fábrica e para outras funções. Isso dá uma visão geral sobre estoque e apoia a decisão, se a produção de um produto é possível e em que momento o material tem que ser reordenado.

3.5.2 Programação de Produção

Uma das tarefas principais do planejador de produção é agendar a execução dos lotes de produção na planta. O cronograma tem que cumprir várias restrições para que a matéria-prima disponibilidade, capacidades do equipamento e capacidade do tanque ou armazém. O objetivo da programação é cumprir todas as datas de vencimento enquanto produz quantidades mínimas de material em estoque. Isto é uma complexa tarefa complexa, que é suportada por sistemas de programação de produção. Os sistemas de programação de produção são baseados em um banco de dados com informações de receitas, informações de equipamentos, informações de estoque, progresso real da produção e pedidos de produção. Com base em um gráfico de Gantt interativo, os cronogramas de produção podem ser gerados e otimizados.

3.5.3 Gerenciamento de Pedidos de Processo

Para acompanhar o progresso da produção, para cada lote planejado o planejador de produção cria uma ordem de produção. A ordem de produção define qual quantidade produto será produzido em qual equipamento e em qual momento. A ordem de processamento é identificada por um número de identificação de lote. Para cada ordem de produção, a disponibilidade de matéria-prima é verificada com base nas informações do sistema de gerenciamento de materiais. Em tempo de execução pode ser criada uma ordem de transporte de material do estoque para a área de produção e emitida para o gestor do estoque. Após a execução da ordem de produção, o consumo de matéria-prima, os rendimentos de produção e a duração do uso do

equipamento são gravados. Com base em todas essas informações na base de dados, a genealogia de um lote pode ser rastreada e um cálculo de custo pode ser realizado.

3.5.4 Gestão de Laboratório

Em muitas plantas de produção, as matérias-primas que chegam e os lotes produzidos precisam ser inspecionados pelo laboratório. Depois de coletar uma amostra do material, uma inspeção é executada de acordo com um plano de inspeção específico. Para apoiar esta tarefa, um Sistema de Informação e Gestão Laboratorial (LIMS – *Laboratory Information Management System*) como parte do sistema MES é aplicado. Neste sistema, são criadas ordens de inspeção. Para cada ordem de inspeção, os resultados da inspeção podem ser digitados e salvos em um banco de dados. Com base nisso, há uma documentação completa do procedimento de controle de qualidade relacionado a um lote. O sistema de gerenciamento de laboratório pode gerar mensagens para o sistema de gerenciamento de materiais para liberar lotes para uso posterior ou para entregar ao cliente.

3.5.5 Gravação Eletrônica em Lote

Em muitas plantas de lote, especialmente em plantas químicas a granel, o procedimento de produção deve ser registrado em um local denominado registro de lote. O registro de lote serve como prova para conformidade com as boas práticas de fabricação (BPF), mas também para recuperação de informações: Para o engenheiro de processo, uma série de 20 registros de lote com informações sobre consumo de material, condições do processo e rendimento e qualidade do produto pode ser a base para uma otimização empírica da receita.

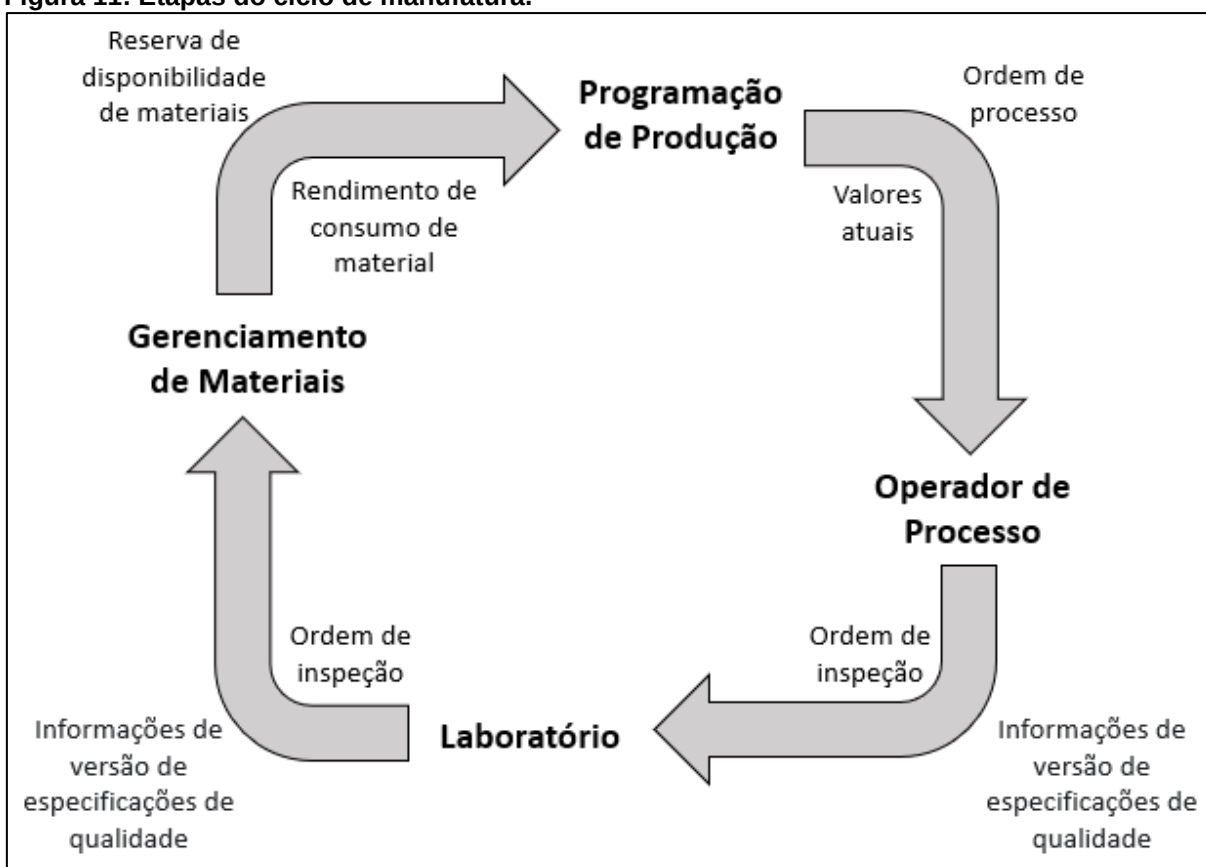
O Sistema Eletrônico de Gravação de Lote (EBRS – *Eletronic Batch Record System*) faz parte do MES, apoiando a coleta de informações de lote com base na estrutura da receita. Essas informações do lote, incluindo pontos de ajuste do processo, valores reais, consumo de material e informações de qualidade, são salvas em um banco de dados. A partir do banco de dados, os registros de lote podem ser impressos e as informações relacionadas ao processo podem ser recuperadas para

fins de avaliação. A descrição dos processos na planta mostra que existem interligações estreitas entre as diferentes áreas de trabalho. Alguns exemplos:

- O planejador de produção precisa de informações do estoque para verificar a disponibilidade de matéria-prima;
- O gerente do estoque precisa de informações de qualidade para saber qual lote do produto pode ser enviado;
- O operador do processo precisa de informações laboratoriais para adotar os pontos de ajuste do processo.

Para dar suporte a esses fluxos de informações entre as diferentes áreas de trabalho, os diferentes domínios operacionais devem ser integrados num único pacote, partilhando uma base de dados comum e interagindo mutuamente. Esse sistema MES integrado leva todas as informações de toda a planta e coordena as pessoas envolvidas, fornecendo as informações certas no momento certo.

Figura 11: Etapas do ciclo de manufatura.



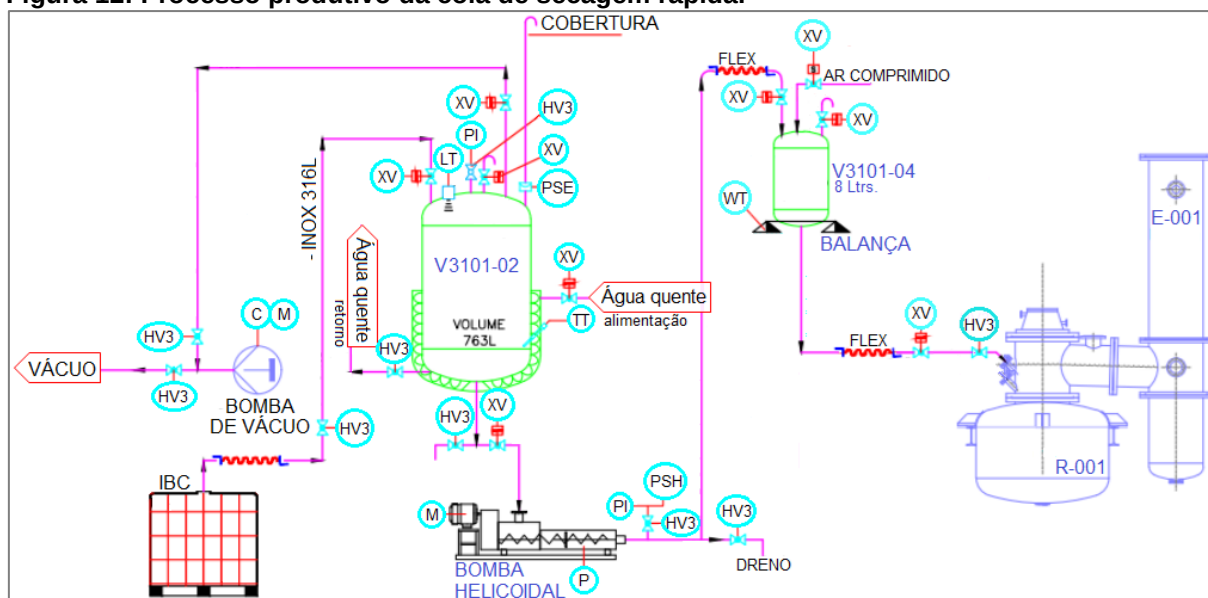
Fonte: Autoria própria.

4 INFORMAÇÕES DO PROCESSO

O processo, objeto de estudo, mostrado na Figura 12, é um processo industrial onde as principais funções são dosagem e transferência. O final dessa etapa produtiva resulta em um produto, com propriedades cola instantânea de alta resistência e secagem rápida. Posteriormente, recebe embalagem proveniente de outro processo para venda final ao consumidor.

A empresa trabalha com utilidades no âmbito multinacional ainda não havia consolidado práticas de monitoramento para processos desse produto, principalmente ao que se refere à avaliação de desempenho das máquinas.

Figura 12: Processo produtivo da cola de secagem rápida.



Fonte: Autoria própria.

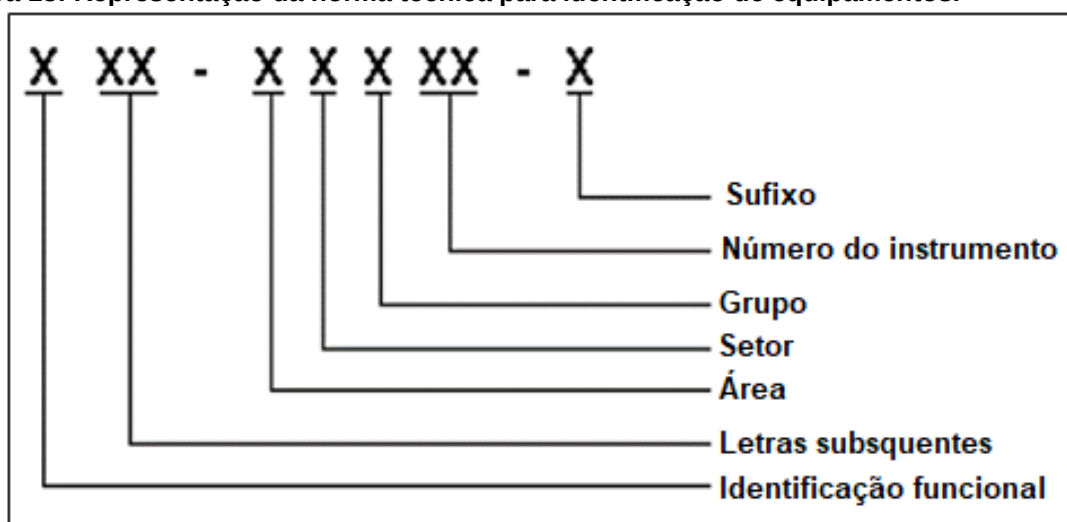
Essa produção conta com produtos químicos de uso confidencial, por isso serão tratados com nomes genéricos. Apesar da confidencialidade de algumas informações, a explicação e estudo do processo não sofrerá impacto

4.1 Simbologia

Para absoluto entendimento compreensão, com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 8190 – Simbologia de Instrumentação (1983), o processo apresentado neste trabalho é identificado pela simbologia padrão da norma supracitada.

O *tagname* é um código alfanumérico, cuja finalidade é identificar equipamentos ou instrumentos dentro de uma planta de processos. As letras e números são dispostos em um formato padrão determinado pela norma técnica, Figura 13.

Figura 13: Representação da norma técnica para identificação de equipamentos.



Fonte: Modificado “Simbologia e Identificação Atuais da Instrumentação Moderna”.

Dessa forma, os seguintes equipamentos fazem parte do processo:

- R-001 – Reator;
- V3101-02 – Vaso recebedor;
- V3101-04 – Vaso recebedor;
- PSH-3101-02 – Bomba helicoidal dosadora.

Para melhor compreensão, a identificação de um instrumento é dada pela regra da Figura 14:

Figura 14: Regra para identificação do instrumento.

P	RC	001	02	A
Variável Identificação Funcional	Função Letras Subsequentes	Área da Atividade	Nº do Instrumento	Sufixo
Identificação do Instrumento				

Fonte: Modificado “Simbologia e Identificação Atuais da Instrumentação Moderna”.

Onde, de acordo com o exemplo:

- P – Variável medida – Pressão;

- R – Função passiva ou de informação – Registrador;
- C – Função ativa ou de saída – Controlador;
- 001 – Área de atividade, onde o instrumento atua;
- 02 – Número sequencial da malha;
- A – Sufixo.

Os elementos indicados no processo estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Identificação dos símbolos.

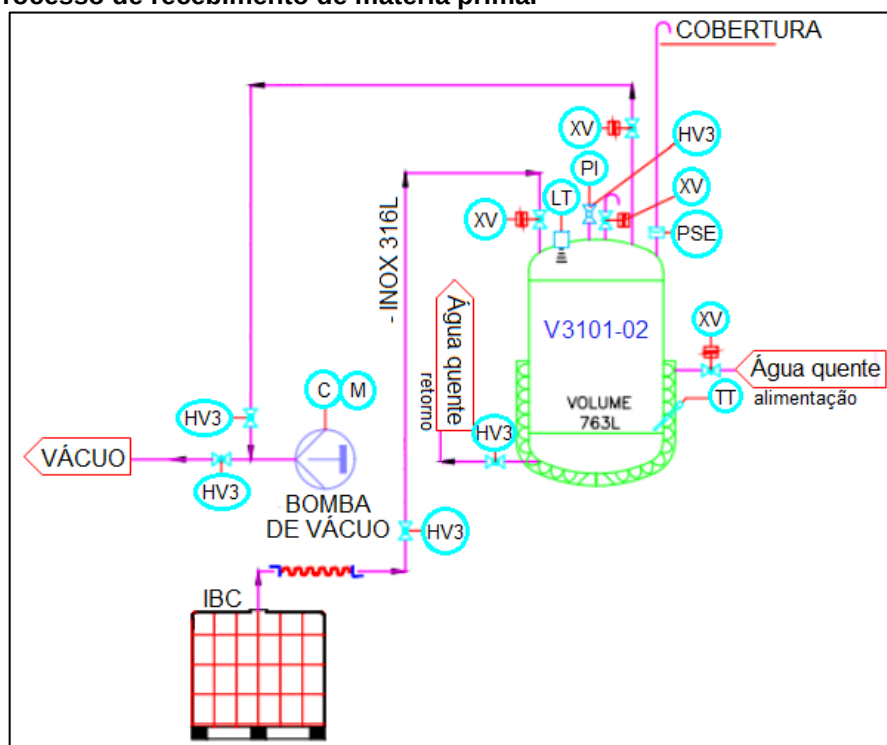
Simbologia	Descrição
	HV - Válvula de manobra manual com comunicação por software
	XV – Válvulas atuadas com comunicação por software
	LT – Sensor de temperatura
	TT – Indicador de temperatura
	XV – Válvula de drenagem com comunicação por software
	CM – Motor de controle para linha de vácuo
	PSE – Elemento de segurança de pressão

Fonte: Autoria própria.

4.2 Transcurso Produtivo

De forma breve, a matéria prima é recebida em IBC, originário do termo inglês *Intermediate Bulk Container*, que traduz como recipiente a granel intermediário. Esta matéria prima, chamada como “produto A” é abastecida totalmente no vaso recebedor (V3101-02). O sistema de aquecimento de água a 90°C, mantém a matéria prima A em uma faixa de temperatura (20-30°C).

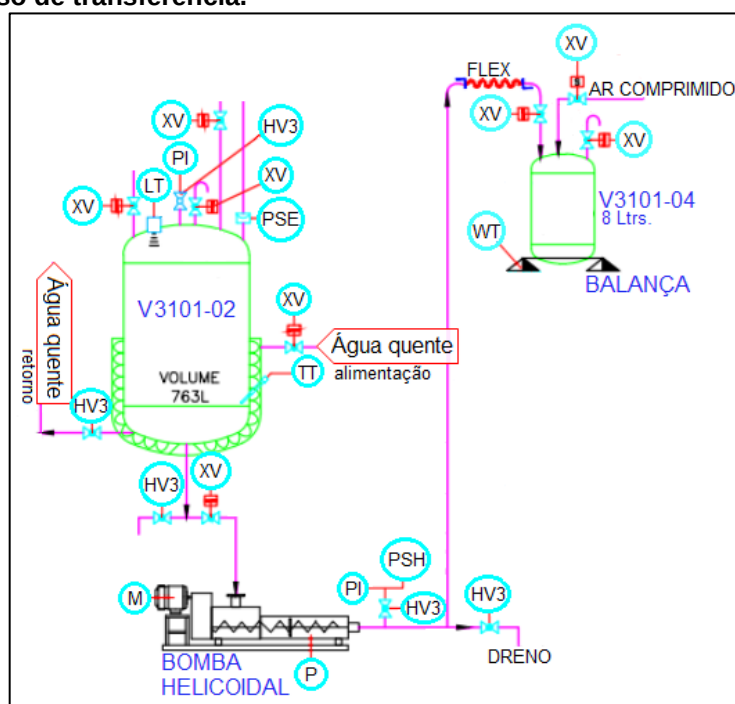
Figura 15: Processo de recebimento de matéria prima.



Fonte: Autoria própria.

Quando o vaso V3101-02 estiver com nível baixo (3%) o sistema será preparado para o carregamento. Assim que o indicador de temperatura (TIT-001) atingir 100°C, o vaso V3101-04, será abastecido pelo V3101-02.

Figura 16: Processo de transferência.



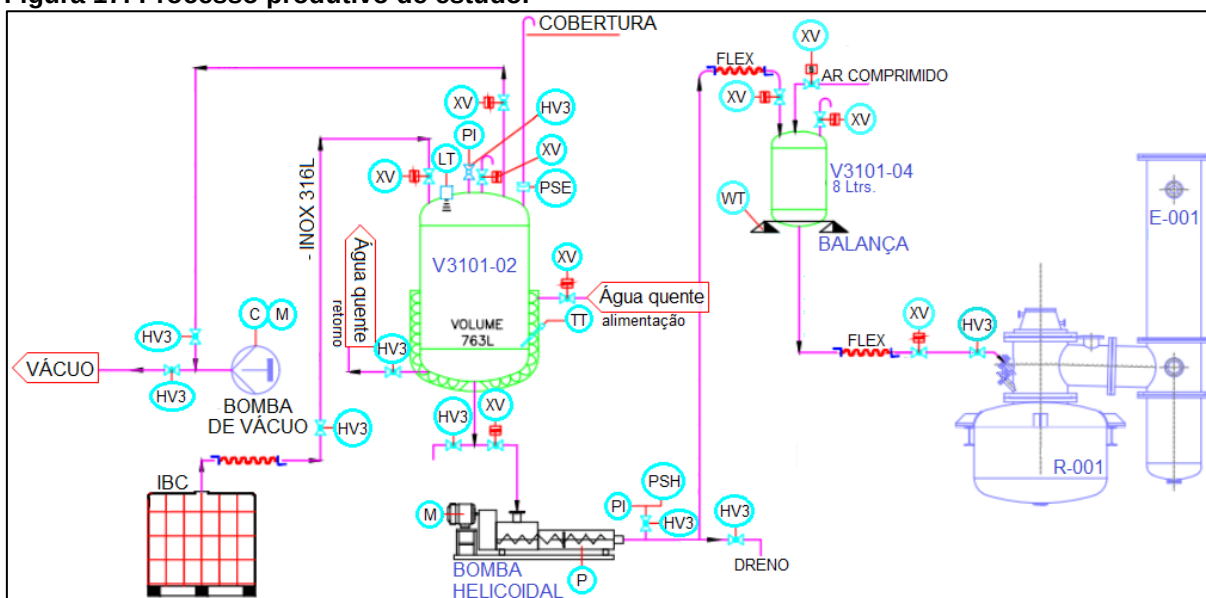
Fonte: Autoria própria.

O TIT-001 (indicação de temperatura do vaso) atingir 110°C, a válvula XV-3101-18 (drenagem) deverá abrir para carregar o reator. Simultaneamente, válvula XV-3101-16 (ar comprimido) deverá abrir durante 20 segundos e fechar antes da válvula XV-3101-18, para garantir a dosagem total no reator.

4.2.1 Sistema de Dosagem

No sistema de dosagem, Figura 17, a matéria prima A recebida em IBC, reservatório gradeado de 1000 litros, Figura 18, e abastecida totalmente em um vaso recebedor.

Figura 17: Processo produtivo de estudo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Recipiente a granel, reservatório gradeado.



Fonte: Figura demonstrativa retirada do catálogo de containers da EmbeTec.

O abastecimento do vaso receptor, através de uma linha de vácuo apresentará o controle dos indicadores de nível, no sistema supervisor. O vaso receptor é fabricado sob medida para esse processo, feito de aço inox, com volume de 763 litros, modelo parecido ao da Figura 19.

Figura 19: Exemplo de vaso de pressão vertical.



Fonte: Figura demonstrativa retirada do catálogo de containers da EmbeTec.

Este vaso (V3101-02) possui sistema de aquecimento em metade de sua extensão, como mostra a Figura 20. O sistema utilizará água quente à 90°C e deverá mantê-la à um faixa de temperatura de 20 a 30°C.

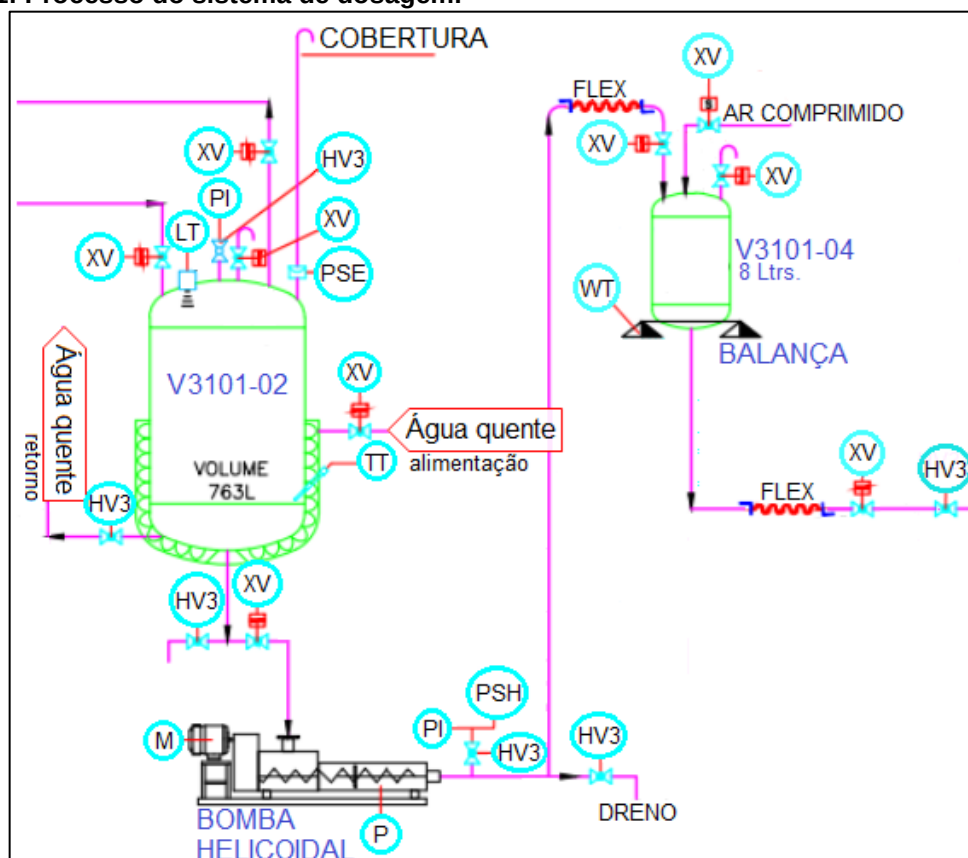
Figura 20: Exemplo de sistema (camisa) de aquecimento.



Fonte: Figura demonstrativa retirada do catálogo de containers da EmbeTec.

Interligado a um sistema de dosagem, uma bomba helicoidal, a adição do produto A é fixa em 6,0 kg e ocorre em 30 segundos de operação, com precisão de mais ou menos 1%. Tanto o vaso receptor (V3101-02) como o vaso (V3101-04) possuem válvulas no fundo para retirada do produto por gravidade.

Figura 21: Processo do sistema de dosagem.



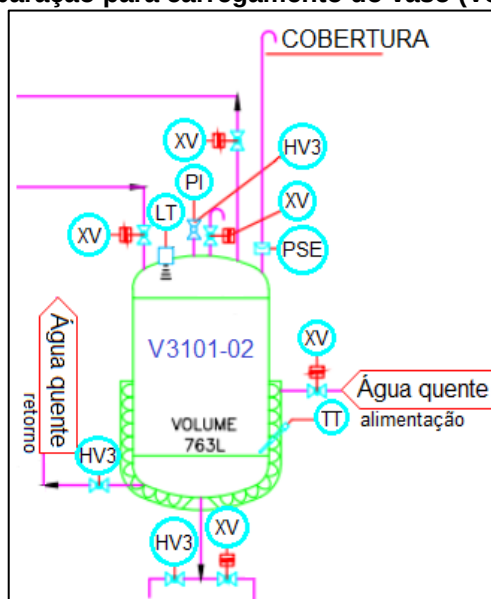
Fonte: Autoria própria.

Ainda que a automação faça todo controle do processo, em caso de queda de energia ou sistema supervisorário indisponível, o sistema terá a forma manual como opção de funcionamento.

4.2.2 Carregamento do Vaso (V3101-02)

Quando o vaso V3101-02 estiver com nível baixo (3%) o sistema de supervisão e aquisição de dados confirmará "CARREGAR PRODUTO B". Ao confirmar a mensagem "CARREGAR PRODUTO B", o sistema será preparado para o carregamento. O controle de nível será feito no mesmo instante pelo sensor de LT-3101-02.

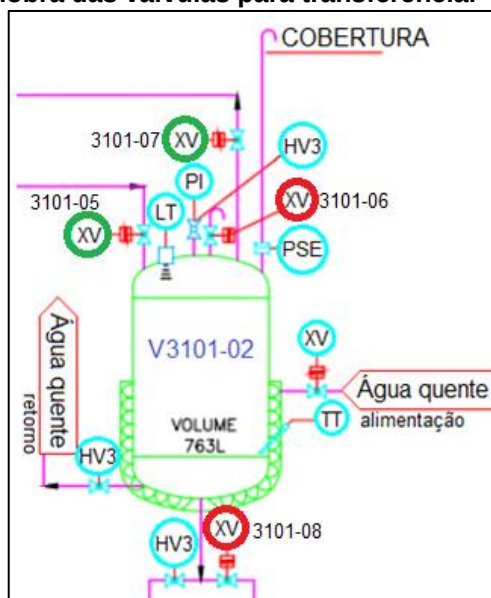
Figura 22: Processo de preparação para carregamento do vaso (V3101-02).



Fonte: Autoria própria.

A próxima etapa abrirá as válvulas XV-3101-07 (vácuo), XV-3101-05 (alimentação) e fechará as válvulas XV-3101-06 (ventilação), XV-3101-08 (drenagem) fazendo com que o supervisório avise: "CARREGAMENTO DE PRODUTO B". Uma vez que essa manobra das válvulas tem como finalidade a transferência de container.

Figura 23: Processo de manobra das válvulas para transferência.

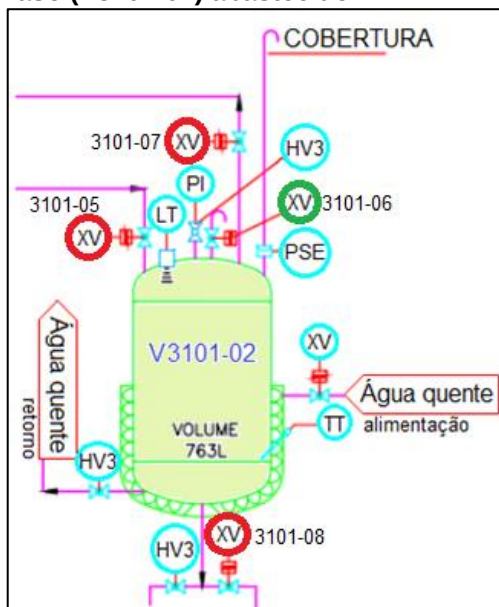


Fonte: Autoria própria.

Quando o nível do vaso V3101-02 atingir 100%, no modo automático, ou o operador confirmar a mensagem, pelo modo manual, as válvulas XV-3101-07 (vácuo),

XV-3101-05 (alimentação) fecharão e a válvula XV-3101-06 (ventilação) abrirão, sendo que a válvula XV-3101-08 (drenagem) continuará fechada.

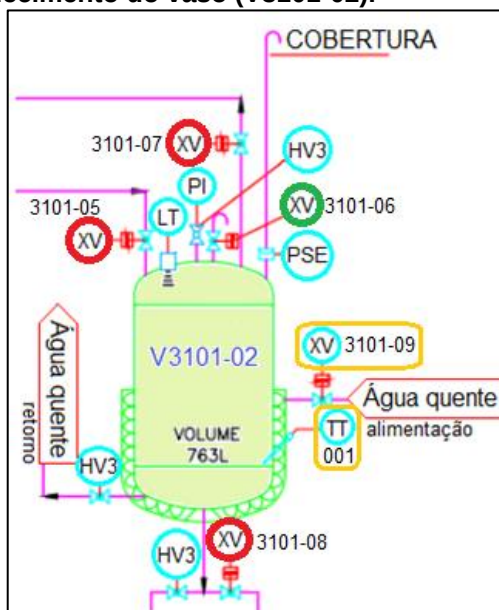
Figura 24: Processo com o vaso (V3101-02) abastecido.



Fonte: Autoria própria.

A temperatura do vaso V3101-02 (reservatório de produto B), será mantida entre 23°C e 27°C definida pelo indicador de temperatura TT-3101-01, controlada pela válvula XV-3101-09 (água quente), caso fique fora do especificado, o sistema não evoluirá, e uma mensagem aparecerá até que o problema seja solucionado.

Figura 25: Processo de aquecimento do vaso (V3101-02).

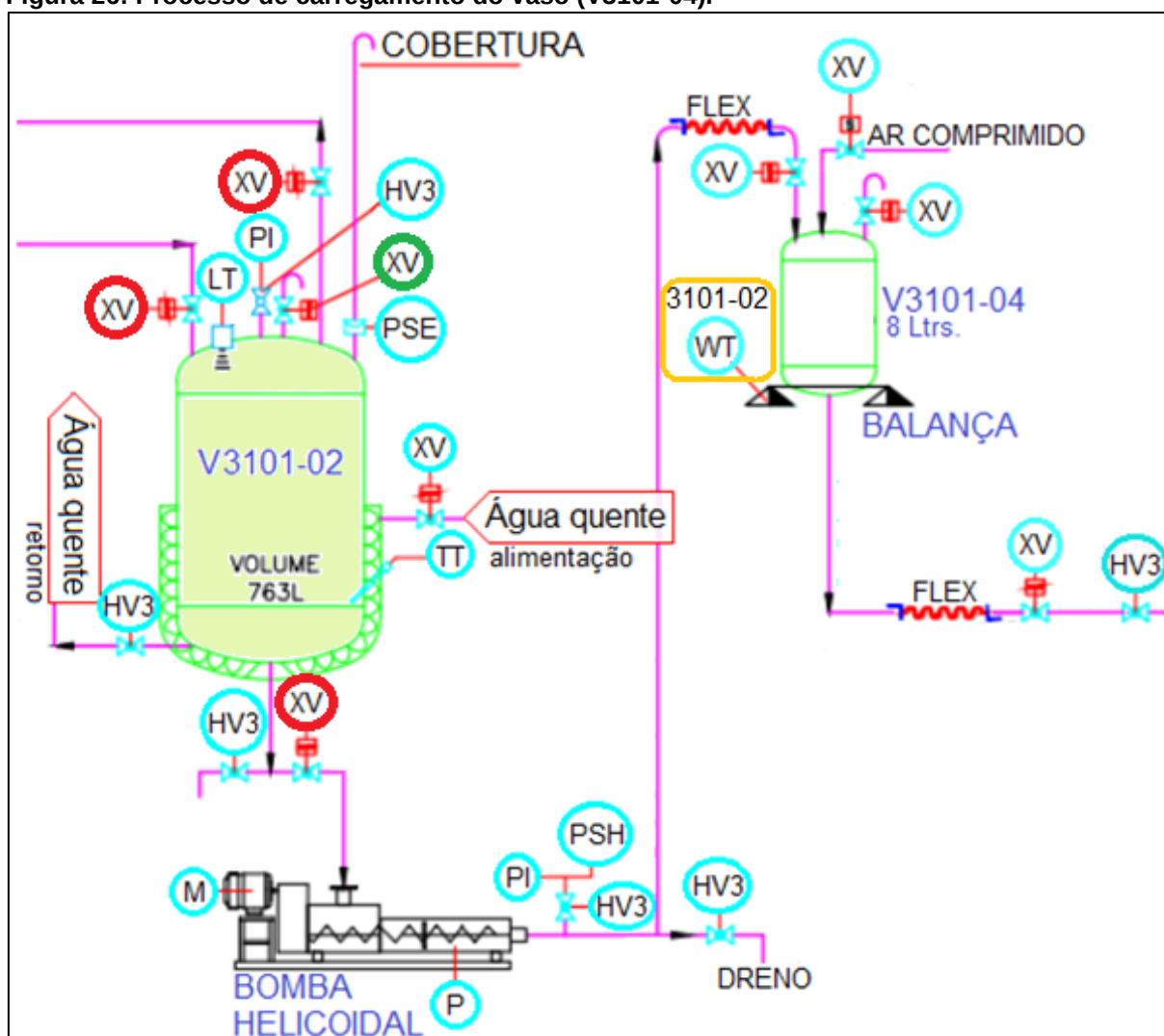


Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Carregamento do Vaso (V3101-04)

Quando o TT-001 (indicação de temperatura) atingir 100°C, o vaso V3101-04 (contendo produto B) deverá ser abastecido pelo V3101-02 (reservatório do produto B). Este abastecimento só poderá ocorrer se a balança WT-3101-02 não estiver apresentando nenhuma indicação de peso.

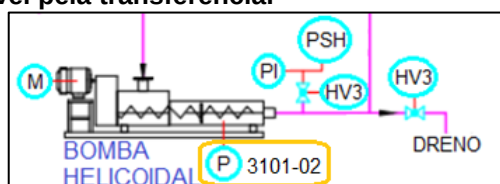
Figura 26: Processo de carregamento do vaso (V3101-04).



Fonte: Autoria própria.

A transferência para o vaso V3101-04 ocorrerá através do acionamento de uma bomba dosadora P-3101-02. Sua partida é através do sinal de saída digital do CLP, assim como a variação de rpm (rotação por minuto). O desligamento da bomba dosadora ocorrerá através da saída analógica (4–20 mA), uma vez que o peso seja atingido.

Figura 27: Sistema responsável pela transferência.

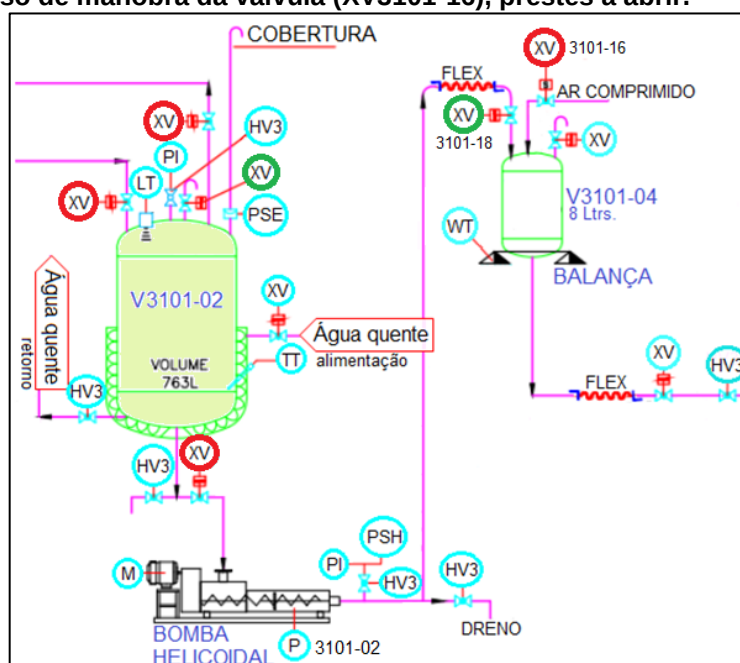


Fonte: Autoria própria.

Ela funcionará de acordo com o peso determinado para o processo, conforme indicação da balança (WT-3101-02) do V-3103-04. Em outras palavras, ao V-3103-04 atingir o peso desejado de 6,0Kg. Este valor não poderá passar da faixa de 6,5Kg-5,8Kg, caso ocorra aparecerá uma mensagem na tela “CARGA DE PRODUTO B ALTA/BAIXA”. Sendo assim, o sistema somente prosseguirá após a correção deste valor.

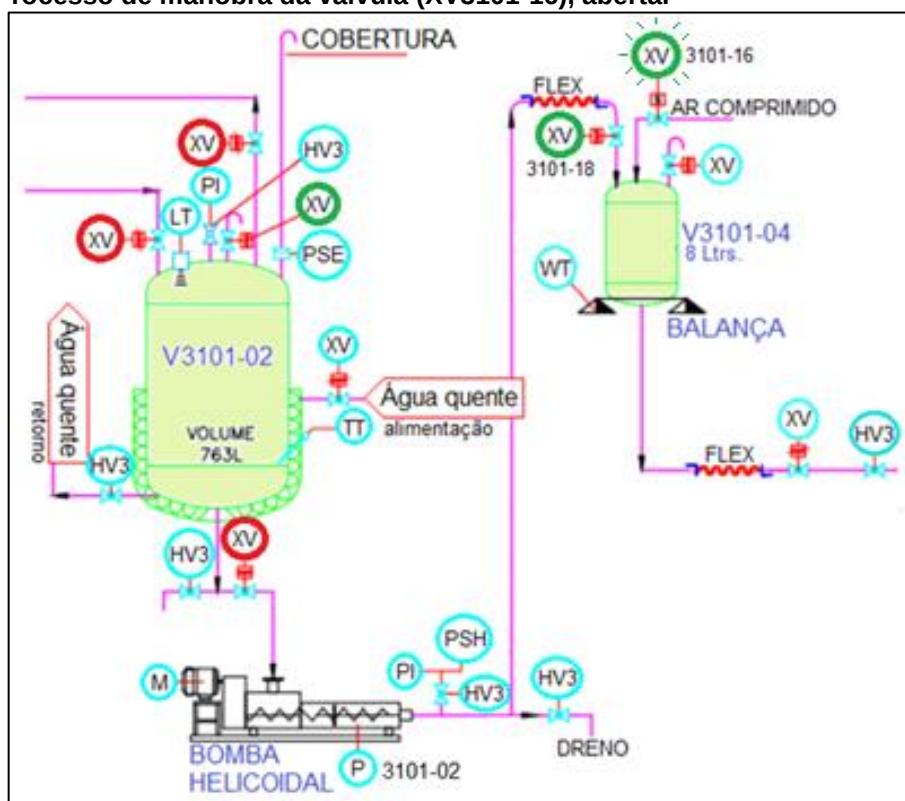
Quando o TT-001 (indicação de temperatura) atingir 110°C, a tela comunicará a adição do lote do produto B sendo que o peso será informado pela balança. Somente após a confirmação do sistema, em modo automático, ou operador, em modo manual, a válvula XV-3101-18 (drenagem) abrirá para carregar o reator. A fim de garantir a dosagem total no reator, antes do fechamento da XV-3101-18, a válvula XV-3101-16 (ar comprimido) abrirá durante 20 segundos e fechará antes da válvula XV-3101-18. O processo descrito neste parágrafo está representado nas sequências de figuras 28, 29 e 30.

Figura 28: Processo de manobra da válvula (XV3101-16), prestes a abrir.



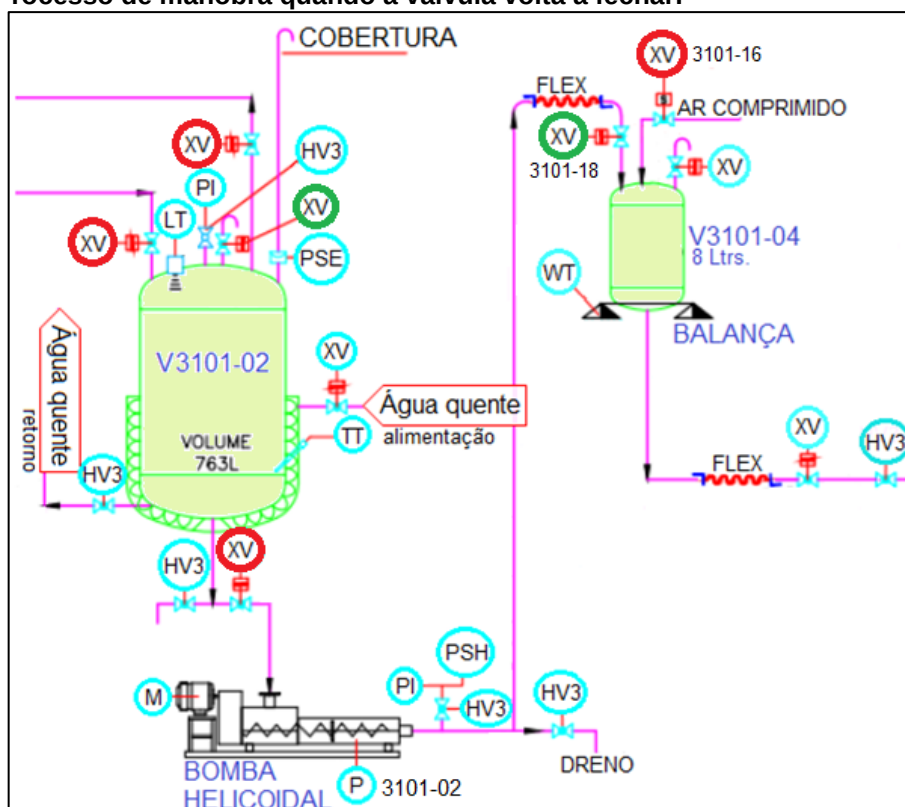
Fonte: Autoria própria.

Figura 29: Processo de manobra da válvula (XV3101-16), aberta.



Fonte: Autoria própria.

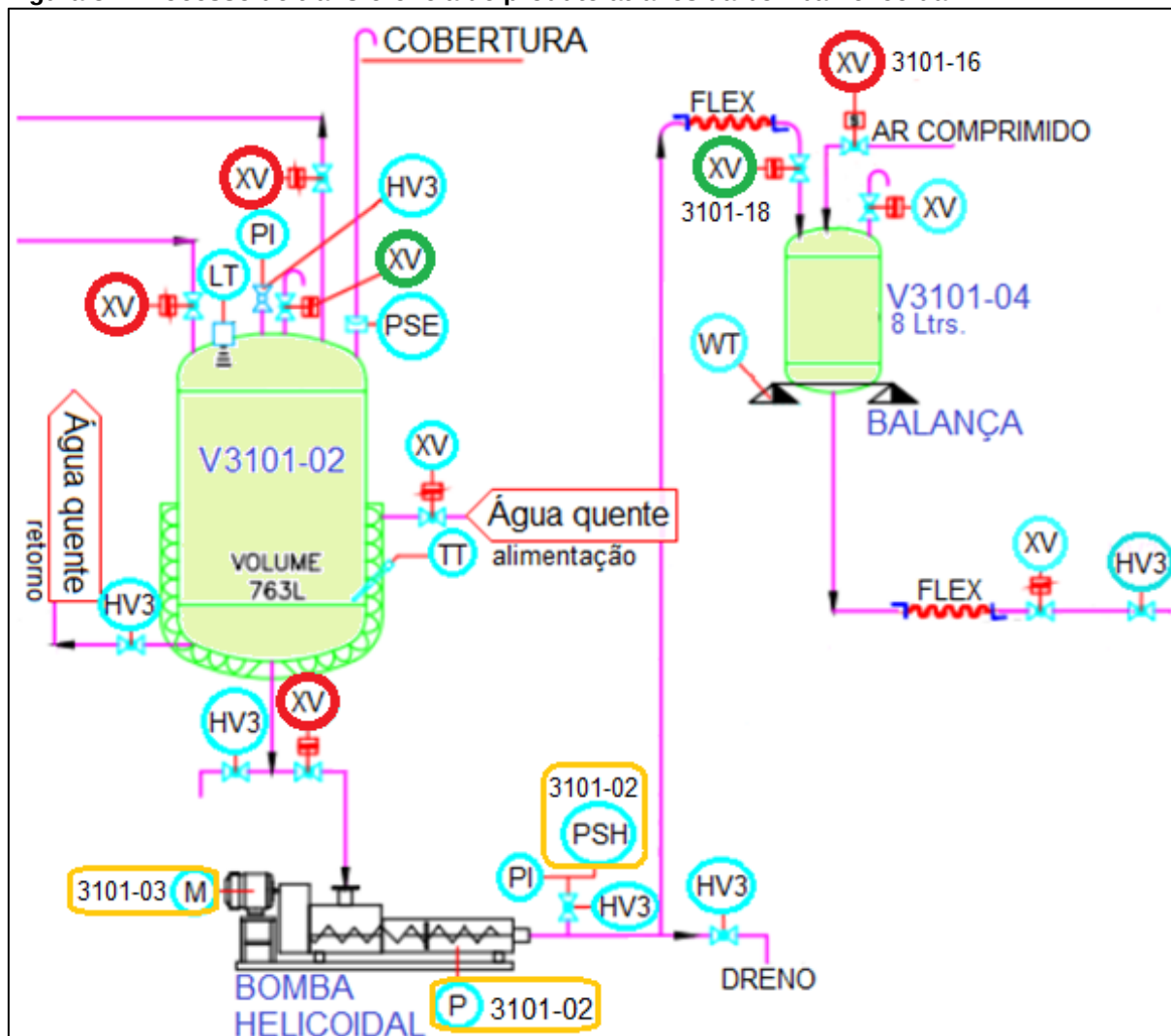
Figura 30: Processo de manobra quando a válvula volta a fechar.



Fonte: Autoria própria.

Caso haja problemas no motor M-3101-03 (bomba dosadora P-3101-02), o supervisório o indicará em vermelho na tela. Dessa forma, haverá aumento de pressão na linha e o pressostato, PSH-3101-02, atuará no desligamento do motor, M-3101-03, da bomba dosadora, P-3101-02. Consequentemente, o sistema acionará um alarme sonoro e um aviso na tela de alta pressão na linha de dosagem do produto B.

Figura 31: Processo de transferência de produto através da bomba helicoidal.



Fonte: Autoria própria.

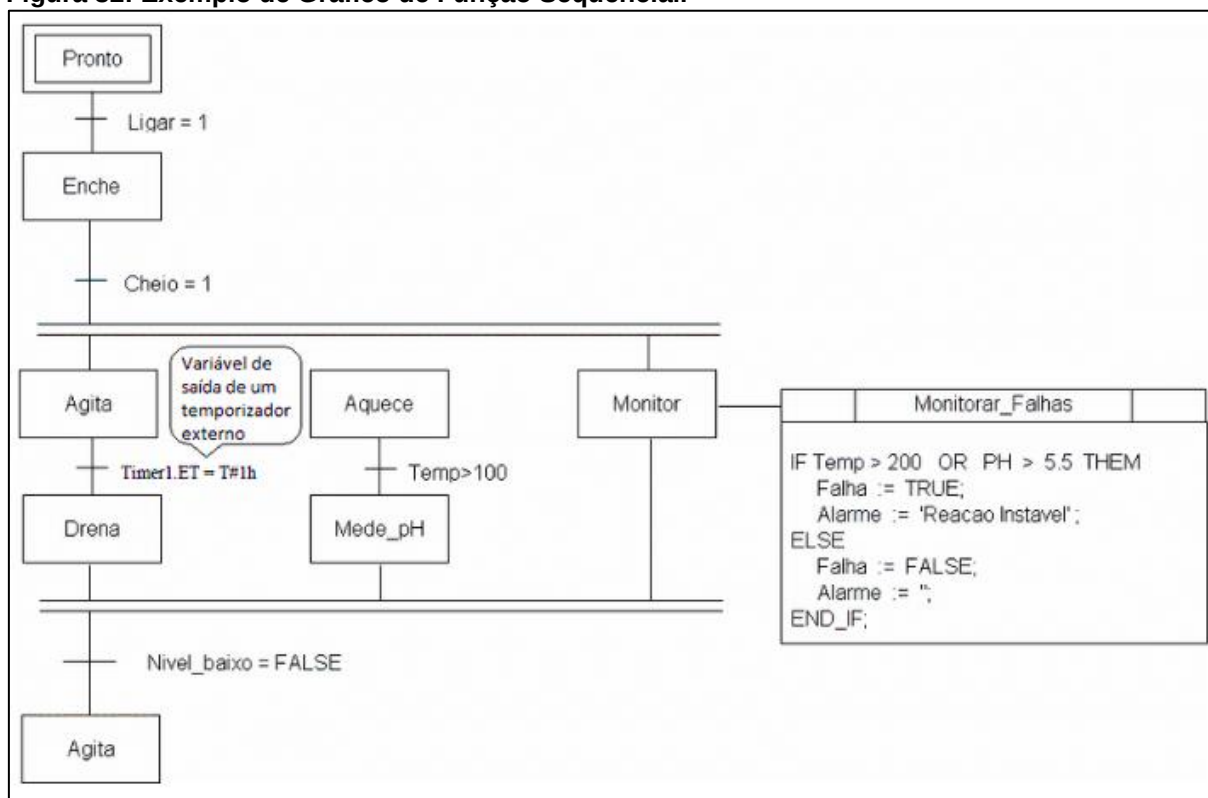
Ao finalizar a transferência dos produtos ao reator, este é acionado para realização da reação química e produção da substância final, a cola de secagem rápida.

5 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

A fim de aumentar a eficiência da linha de produção apresentada, a empresa automatizou o processo produtivo. A principal motivação foi a funcionalidade do CLP nesse cenário em contraste com a melhora significativa do indicador OEE. A aplicação não exigiria muito investimento, uma vez que a fábrica dispunha da maioria dos equipamentos necessários.

A ferramenta utilizada foi o software CODESYS, um simulador de CLP, que através da sua interface de programação representa fielmente as funcionalidades dele. Neste caso, a linguagem de programação utilizada foi o Gráfico de Função Sequencial (SFC - *Sequential Function Chart*), Figura 32, pois é feita em um formato gráfico e utilizada principalmente em processos sequenciais proporcionando mais margem para o manuseio e desenvolvimento do código.

Figura 32: Exemplo de Gráfico de Função Sequencial.

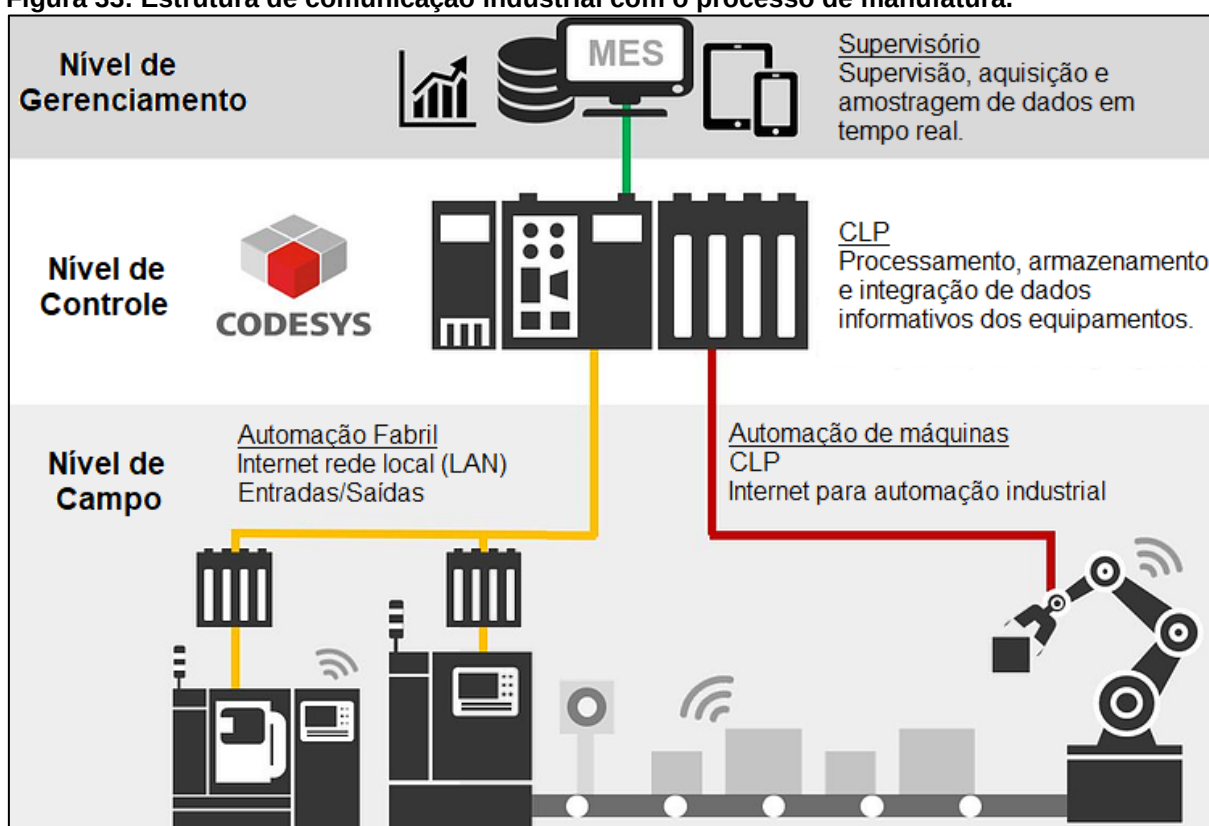


Fonte: Modificado "A brief history of computing".

No processo utilizou-se tanto a parte de visualização presente no CODESYS quanto um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, mais conhecido como SCADA (abreviação do termo em inglês, Supervisory Control and Data Acquisition) ou

sistema supervisorio, que é responsável por toda parte de monitoramento das variáveis de processo. Para isso será utilizado o *software* MES, que simula um sistema supervisorio coletando e transmitindo em tempo real todas as variáveis e dispositivos do sistema de controle. Os dois *softwares* estão conectados e exercendo a comunicação via OPC DA (*Open Platform Communications Data Access*), que é um padrão de comunicação cliente-servidor responsável por levar os dados e informações do CLP exercido pelo CODESYS, para o sistema SCADA exercido pelo MES. Essa comunicação está exemplificada na Figura 33, para melhor compreensão.

Figura 33: Estrutura de comunicação industrial com o processo de manufatura.

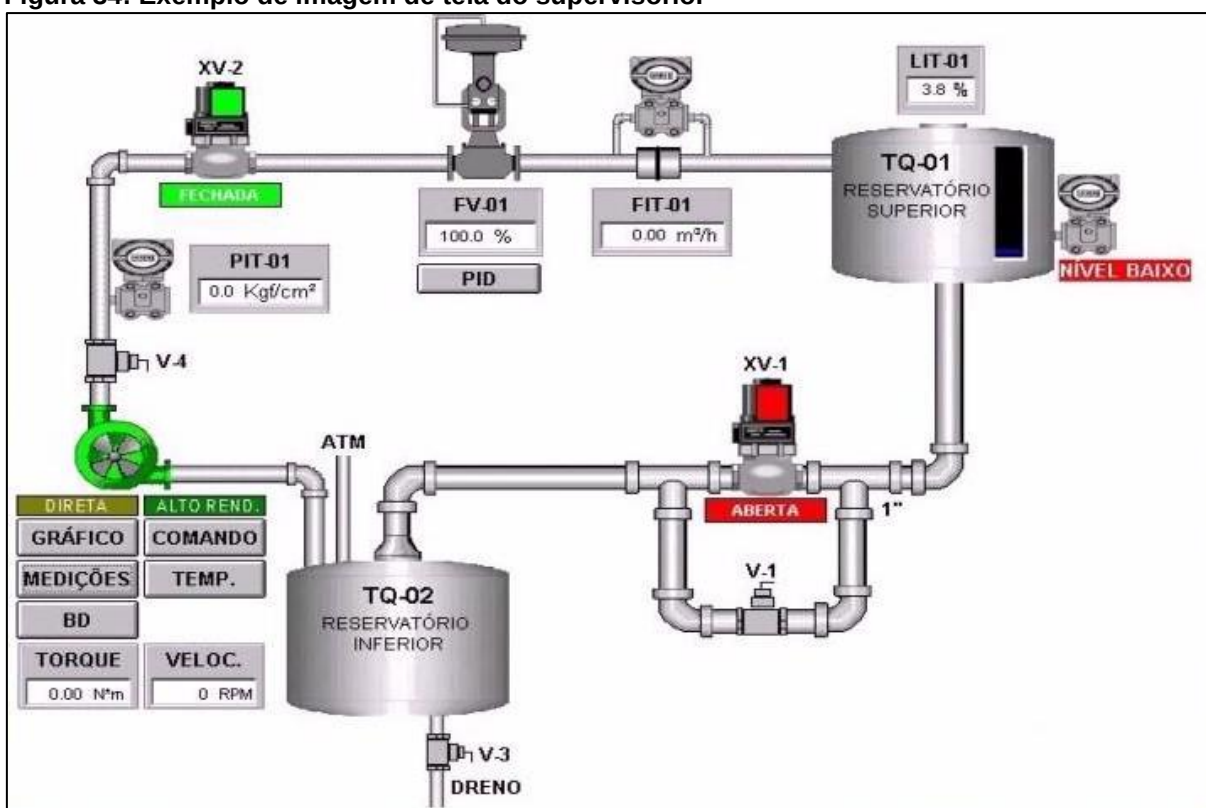


Fonte: Autoria própria.

Todas as funções descritas ao longo do processo: abastecimento, aquecimento, drenagem, dosagem, abertura e fechamento, aplicação e vácuo, transferência, pesagem, rotação e acionamento foram vinculadas, através do sistema de comunicação, com seus respectivos componentes: válvula, sensor, motor, indicador, motor e reator. Além disso, é necessário vincular a esse sistema o funcionamento de todo maquinário envolvido nesse processo. A combinação de todos os itens citados demonstrará o poder da automação industrial através do CLP.

O próximo passo foi executar a programação necessária. O uso do SFC facilitou em demasia a visualização e sequenciamento do processo exatamente como a descrição, com uma lógica simples e bem definida. O MES e o supervisório foram vinculados em paralelo a todo esse sistema, obtendo todos os dados desejados em tempo real. O sistema supervisório, semelhante à Figura 34, na sala de controle permite que um operador verifique a conformidade do sistema.

Figura 34: Exemplo de imagem de tela do supervisório.



Fonte: “Catálogo do RT Automação” (<https://www.rtautomacao.com.br/sistema-supervisorio-industrial>)

A empresa é adepta da Manutenção Produtiva Total e possui metas para diárias, semanais e mensais para realização de manutenção em seus equipamentos. Partiu-se da meta diária de manutenção corretiva para aquisição de dados dessa linha produtiva. Esse processo funciona três turnos, sendo oito horas cada turno, totalizando vinte e quatro horas de produção em cinco dias na semana, raros casos de seis ou sete dias na semana se a demanda do produto estiver alta.

A meta diária de manutenção corretiva na fábrica é menor ou igual à 8,3% da capacidade produtiva. Sabendo que a produção é de 24 horas diárias, através do cálculo, conclui-se que a meta é menor ou igual a duas horas de inatividade por

equipamento. É importante ressaltar que a meta não foi estipulada de forma aleatória. A meta é calculada a partir do histórico de manutenção corretiva dos últimos 3 anos, considerando as melhorias na fábrica ao longo dos anos, pela equipe juntamente com os profissionais da área, estipula-se uma meta desafio para o ano seguinte. Qualquer inconveniente relacionado a algum equipamento da linha produtiva, independente da razão, sendo relacionada à: qualidade, logística, *supply chain*, engenharia, almoxarifado ou manutenção é gerado uma ordem de serviço (OS) para sua solução. A ordem de serviço é solicitada pelo operador e gerada pelo líder de produção para a manutenção, recebida e analisada pelo planejador de manutenção e encaminhada para o técnico mais adequado. Toda OS registrada se torna histórico para qualquer futura consulta.

A manutenção que dura mais de duas horas torna-se um “gatilho”, pois deixou o indicador diário fora da meta. É importante o controle diário porque dessa forma haverá um controle prévio do indicador semanal e mensal. Quando um gatilho é gerado, é obrigatória atuação imediata neste com uma ou mais das seguintes ferramentas: Análise dos 5 por quês, Diagrama de Ishikawa também conhecido como Diagrama de causa e efeito ou Diagrama escama de peixe e Análise de causa raiz.

Dependendo da criticidade da situação, pode-se utilizar mais de um método. Assim que a investigação for concluída e indicar o problema que causou o gatilho, a manutenção terá 24 horas para agir na solução.

O MES também registrará todas as paradas, de todos os equipamentos da fábrica. Esses dados são necessários para o cálculo dos indicadores mensais da manutenção, para monitoramento da eficiência da planta, bem como, de cada equipamento. Tais indicadores são:

- MTBF (*Mean time between failure*) representa o tempo entre falhas, esse indicador indicará o intervalo de quebra de um equipamento;
- MTTR (*Mean time to repair*) representa o tempo médio de conserto do equipamento, em outras palavras, a média de atuação da manutenção na resolução do problema. Nesse caso, cada equipamento possuirá o seu devido à particularidade de cada um.

Para o cálculo do indicador OEE, o propósito principal desse projeto, utilizou-se o mesmo banco de dados do MES, a partir do apontamento de todas as paradas recorrentes na planta.

6 DISCUSSÃO E RESULTADOS OBTIDOS

Foram listados os motivos mais recorrentes da linha durante um mês, equivalente a 22 dias de operação e associados cada problema a um código, conforme Tabela 4.

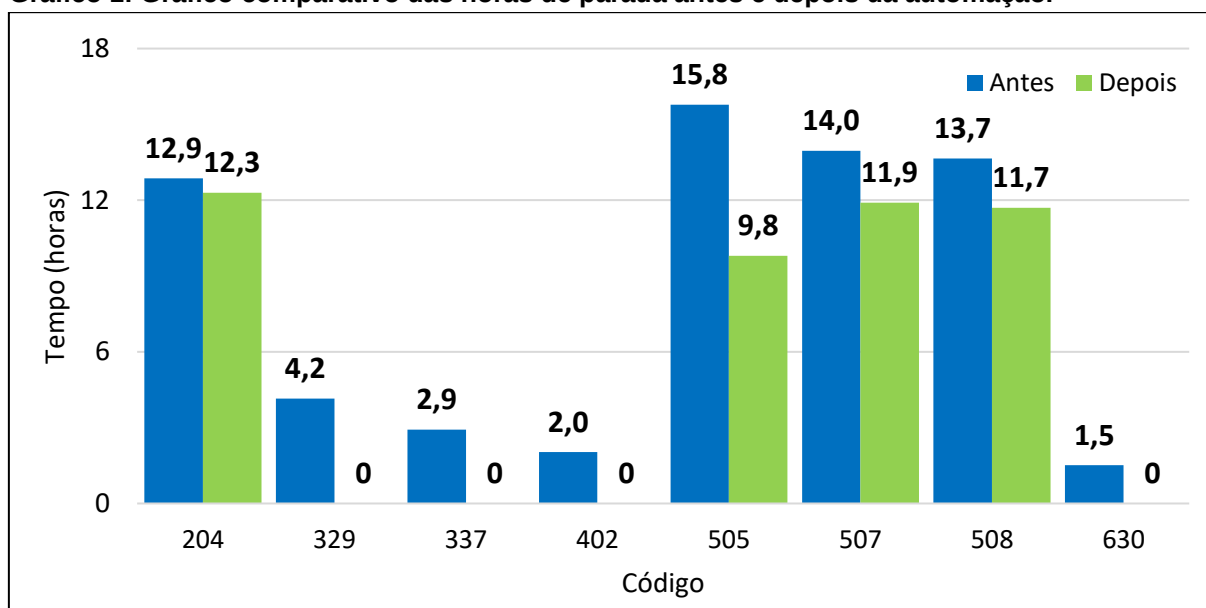
Tabela 4: Códigos referente à cada parada ou interrupção de linha.

Número	Código	Motivo de parada ou interrupção de linha
1	204	Ausência de matéria prima
2	329	Atraso do retorno do intervalo
3	337	Não abertura da válvula
4	402	Definição incorreta da temperatura
5	505	Falha na bomba helicoidal
6	507	Falha no aquecimento da água
7	508	Falha no sensor de temperatura
8	630	Não acionamento do sistema de vácuo

Fonte: Autoria própria.

Para a análise da eficácia geral dos equipamentos da linha produtiva foram comparados os dados antes com após a automação. Os resultados estão expressos no Gráfico 1 e na Tabela 5.

Gráfico 1: Gráfico comparativo das horas de parada antes e depois da automação.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 5: Comparação de tempo de parada antes e depois da automação.

Código	Antes (h)	Depois (h)
204	12,9	12,3
329	4,2	0
337	2,9	0
402	2,0	0
505	15,8	9,8
507	14,0	11,9
508	13,7	11,7
630	1,5	0
Total	66,9	45,7

Fonte: Autoria própria.

Para melhor percepção da dimensão da situação, é possível fazer uma analogia com o tempo. As paradas que costumavam ser 66,9 horas passaram a ser 45,7 horas. A Tabela 5 apresenta a porcentagem de melhora, após a automação, da recorrência de cada um dos problemas.

Tabela 6: Melhoria de disponibilidade para cada problema.

Código	Aumento da disponibilidade (%)
204	4,4
329	100,0
337	100,0
402	100,0
505	37,9
507	14,7
508	14,3
630	100,0

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo do OEE, levantou-se todos os dados necessários de acordo com a Figura 9. O raciocínio de cada tópico está brevemente descrito a seguir:

A) Tempo disponível para produção: O período analisado foram 22 dias, sendo 3 turnos, equivalentes à 24h cada turno, resultando no tempo disponível para produção é igual à 528h.

B) O tempo real da produção: Obtém-se esse dado subtraindo o tempo disponível para produção (528h) das perdas calculadas.

- Antes da automação: $528 - 66,9 = 461,1h$
- Depois da automação: $528 - 45,7 = 482,3h$

C) Produção teórica: Através de estudos de manufatura sabe-se que a linha produz 3 toneladas por turno, o que dá 9 toneladas por dia ou 198 toneladas no período estudado.

D) Produção real: Contudo, essa linha operava à 90,9% de rendimento (aproximadamente 180 toneladas), caso as configurações fossem ajustadas para acelerar o processo, outros problemas surgiam. Após a automação, com melhor monitoramento de variáveis importantes, o rendimento passou a ser 95,9% (aproximadamente 190 toneladas).

E) Quantidade de produtos: Nessa linha de produção, o rendimento da produção antes da automação era de 79,7% (aproximadamente 158 toneladas), após a automação a porcentagem foi para 85,3% (aproximadamente 169 toneladas).

F) Quantidade de produtos bons: O fim desse processo possuía 74% (aproximadamente 148 toneladas) de aproveitamento do produto, após a automação a porcentagem foi para 79,2% (aproximadamente 157 toneladas).

Através da fórmula da OEE apresentada na Figura 10 e após a análise dos dados, é possível calcular o indicador antes e após a automação.

Tabela 7: Cálculo do indicador Eficácia Geral do Equipamento.

Antes	$\frac{461,1}{528} \times \frac{180}{198} \times \frac{148}{158}$ $0,87 * 0,90 * 0,94 = 0,73 = 73\%$
Depois	$\frac{482,3}{528} \times \frac{190}{198} \times \frac{157}{169}$ $0,91 \times 0,95 \times 0,92 = 0,90 = 90\%$

Fonte: Autoria própria.

7 CONCLUSÃO

A partir da análise de dados nota-se que os principais problemas da linha eram relacionados à mão de obra, por atraso ou falta de atenção. Por ser um processo industrial sequencial, a instalação do CLP nas etapas do processo serviu perfeitamente e apresentou sua eficácia reduzindo completamente os problemas relacionados à operação manual.

Essa pesquisa provou ser bem sucedida, pois atingiu o propósito de validar a teoria da automação de processos. Antes da automação, essa parte da linha de manufatura possuía 70% de OEE, valor considerado não satisfatório para uma linha industrial, citado na seção 3.4. Os estudos se legitimaram oportunos quando o resultado evoluiu para 90%. Apesar de cumprir a meta geral do OEE, houve divergência no indicador individual de qualidade. Isso se dá ao fato de o segmento produtivo estudado não ser afetado pela qualidade justamente porque o processo foi padronizado. O indicador de qualidade sofre mais impacto quando o objeto de estudo for embalagens ou produto acabado, tornando essa característica perceptiva.

O desfecho desse estudo de caso valida as premissas das metodologias aplicadas. Realça que a gestão atua de forma proativa para reduzir desperdícios em diferentes setores da fábrica modernizando o seguimento de manufatura.

8 REFERÊNCIAS

AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. An evaluation of TPM initiatives in Indian industry for enhanced manufacturing performance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2008.

BALUCH, N. H.; ABDULLAH, C. S.; MOHTAR, S. TPM and lean maintenance-A critical review. **Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business (IJCRB)**, v. 4, n. 2, p. 850-857, 2012.

BARIANI, L. Utilização da tecnologia de informação por grupos integrados de manufatura para o controle de indicadores de produção enxuta: um estudo de caso. 2006.

BENETTI, H. P. et al. Padronização do trabalho em uma fábrica de artefatos de cimento. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Foz do Iguaçu, Paraná**, 2007.

BOWEN, H. K.; SPEAR, S. Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard Business Review**, v. 99, 1999.

CATÁLOGO RT AUTOMAÇÃO

Acesso em: <<https://www.rtautomacao.com.br/informacoes>>

CHANESKI, W. S. Total productive maintenance—an effective technique. **Modern Machine Shop**, v. 75, n. 2, p. 46-8, 2002.

DE RON, A. J.; ROODA, J. E. OEE and equipment effectiveness: an evaluation. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 23, p. 4987-5003, 2006.

FUENTES, F. F. E. Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial. 2006. **repositorio.ufsc.br**

FESTUGATTO, J. R. Aplicação da metodologia de balanceamento de linhas na empresa Atlas Eletrodomésticos Ltda. **Anais: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza**, 2006.

GOSAVI, A. A risk-sensitive approach to total productive maintenance. **Automatica**, v. 42, n. 8, p. 1321-1330, 2006.

GUSKOVA, M. F.; NEPOPUSHCHEVA, A. O. The management and automation of manufacturing processes. In: **2019 International Conference" Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"(IT&QM&IS)**. IEEE, 2019. p. 8-10.

HANSEN, R. C. Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros. **Porto Bookman, Alegre**, 2006.

HUANG, S. H. et al. Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. **International journal of production research**, v. 41, n. 3, p. 513-527, 2003.

LAMB, F. **Industrial automation: Hands-on**. McGraw-Hill Education, 2013.

MARAN, M.; MANIKANDAN, G.; THIAGARAJAN, K. Overall Equipment effectiveness measurement by weighted approach method. **Proceeding of the international MultyConfrence of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong**, 2012.

MATHER, D. **The maintenance scorecard: Creating strategic advantage**. Industrial Press Inc., 2005.

MEDIDA, S. Pocket guide on industrial automation. **IDC technologies**, 2008.

MONDEN, Y. **Toyota production system: an integrated approach to just-in-time**. CRC Press, 2011.

MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International journal of production research**, v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008.

NAKAJIMA, S. Introduction to TPM: total productive maintenance. **Productivity Press, Inc., 1988**. p. 129, 1988.

NICOLETTI, B. Lean and automate manufacturing and logistics. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 278-285.

NOON, M.; JENKINS, S.; LUCIO, M. M. Fads, techniques and control: the competing agendas of TPM and TECEX at the Royal Mail (UK). **Journal of Management Studies**, v. 37, n. 4, p. 499-520, 2000.

OHNO, T. Toyota production system: beyond large-scale production. Productivity press, 2019.

OLLILA, A.; MALMIPURO, M. Maintenance has a role in quality. **The TQM magazine**, 1999.

OLSSON, G.; PIANI, G. **Computer systems for automation and control**. New York: Prentice Hall, 1992.

O'REGAN, G. **A brief history of computing**. London: Springer, 2008.

PRAMOD, V. R.; DEVADASAN, S. R.; JAGATHY RAJ, V. P. Receptivity analysis of TPM among internal customers. **International Journal of Technology, Policy and Management**, v. 7, n. 1, p. 75-88, 2007.

RIBEIRO, M. A. **Simbologia e Identificação Atuais da Instrumentação Moderna**. T&C Treinamento e Consultoria Ltda., 2019,

ROSARIO, J. M. **Automação industrial**. Editora Baraúna, 2009.

SWANSON, L. Linking maintenance strategies to performance. **International journal of production economics**, v. 70, n. 3, p. 237-244, 2001.

Setec Consulting Group (2008). **Apostila Setec Consulting Group Treinamento Seis Sigma Green Belt – Melhoria DMAIC**. revisão 5.

SHARMA, A. K.; SHUDHANSHU, A. B. Manufacturing performance and evolution of TPM. **International journal of engineering science and technology**, v. 4, n. 3, p. 854-866, 2012.

SHELL, R. **Handbook of industrial automation**. CRC press, 2000.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International journal of production research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

WILLIAMSON, R. M. TPM: An often-misunderstood equipment improvement strategy. **Maintenance Technology Magazine online**, v. 13, n. 4, 2000.

WILLMOTT, P. Total quality with teeth. **The TQM Magazine**, 1994.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry**. Simon and Schuster, 2007.