



MATHEUS TEIXEIRA NEIVA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE DECLARAÇÃO DE
PRODUÇÃO DE AMORTECEDORES**

LAVRAS – MG

2019

MATHEUS TEIXEIRA NEIVA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE DECLARAÇÃO DE PRODUÇÃO DE
AMORTECEDORES**

Relatório Técnico apresentado à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia de Controle e Automação para a obtenção do título de bacharel.

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana

Orientador

LAVRAS – MG

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo próprio autor.**

Neiva, Matheus Teixeira.

Sistema Automático de Declaração de Produção de
Amortecedores / Matheus Teixeira Neiva. - 2019.

49 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dimitri Campos Viana.

Relatório Técnico (bacharelado) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

*Aos meus pais, Camilo e Maristania,
pelos esforços dedicados à toda
minha formação e inspiração para
que me tornasse no que hoje sou.*

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Dimitri Campos Viana, pela orientação, pela sua dedicação em me orientar e formar excelentes profissionais por meio do exercício da docência.
- À Universidade Federal de Lavras, por propiciar sua excelente estrutura e corpo docente, onde pude interagir com diversas áreas do conhecimento e vivenciar diversas experiências enriquecedoras para minha formação.
- À Marelli Lavras, por me propiciar diversas experiências no âmbito profissional, ampliar meus horizontes nas áreas de Engenharia Mecânica, Produção e Gestão de Projetos, além de permitir a documentação do sistema neste trabalho.
- Aos orientadores que passaram na minha vivência acadêmica, Prof. Dr. Juliano Elvis de Oliveira, Prof. Dr. Thomaz Chaves de Andrade Oliveira e Prof. Dr. Magno Barbosa Dias.
- Aos amigos que fiz durante o meu percurso em Lavras, por todo o suporte e companheirismo e por todo o crescimento pessoal e profissional que me proporcionaram.
- A Deus, por me apoiar em todas as horas difíceis, ajudar a superar todos os desafios e propiciar o convívio com todas essas incríveis pessoas.

RESUMO

Neste trabalho descreve-se a implementação de um sistema automático de declaração de produção de amortecedores, a fim de disponibilizar na literatura uma alternativa de baixo custo em contraponto ao *Manufacturing Execution System* (MES), enquanto os comparam. O sistema foi projetado para declarar automaticamente a produção de amortecedores na linha de montagem da Marelli Lavras, com a mínima interferência humana. A contabilização da produção é realizada por meio de um sensor *laser* instalado em uma esteira transportadora, após a etapa de soldagem do copo do selo do amortecedor. Quando acionado, o sensor transmite o sinal para o Controlador Lógico-Programável (CLP), que identifica o sinal e gera um código sequencial que é enviado a um computador, o qual realiza a interface com o *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* (SAP), enviando a declaração para este último. A implementação do sistema possibilitou a redução dos custos com mão-de-obra direta e divergências de inventário, com um pequeno investimento.

Palavras-chave: SAP. MES. CLP. Amortecedores. Declaração de Produção.

ABSTRACT

This paper describes the implementation of an automatic shock absorber production declaration system, in order to provide a low cost alternative in the literature against the Manufacturing Execution System (MES), while comparing them. The system is designed to automatically declare shock absorber production on the Marelli Lavras assembly line with minimal human interference. Production is accounted for using a laser sensor installed on a conveyor belt after the damper seal cup welding step. When triggered, the sensor transmits the signal to the Programmable Logic Controller (PLC), which identifies the signal and generates a sequential code that is sent to a computer, which interfaces with *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* (SAP), sending the statement to the latter. The implementation of the system made it possible to reduce direct labor costs and inventory divergences with a small investment.

Keywords: SAP. MES. PLC. Shock Absorbers. Production Declaration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Portaria Principal da Marelli Lavras.	19
Figura 2 – Possíveis configurações de sensores ópticos.	24
Figura 3 – Rede EtherNet/IP™	26
Figura 4 – Dispositivos em uma rede EtherNet/IP™	26
Figura 5 – Painel sinóptico da termelétrica Special K, na Hungria	27
Figura 6 – Relação dos sistemas ERP, MES e SCADA.	29
Figura 7 – Fluxo de declaração manual com balança.	32
Figura 8 – Amortecedores semiacabados acondicionados em carrinhos.	33
Figura 9 – Fluxo de declaração atual.	34
Figura 10 – Esteira de contabilização de peças.	35
Figura 11 – Arquitetura da Rede do Sistema.	36
Figura 12 – Diagrama Ladder da contagem das peças.	38
Figura 13 – Exemplo de código gerado pelo CLP.	39
Figura 14 – Tela de <i>setup</i> de <i>Part Number</i> na IHM.	40
Figura 15 – <i>Front-end</i> do TCS Gateway.	41
Figura 16 – TOP 10 da divergência negativa por modelo de amortecedor.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Divergências dos inventários gerais de 12 meses.	42
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABAP Programação de Aplicações Avançadas para Negócios (do inglês *Advanced Business Application Programming*)

CIP Protocolo Industrial Comum (do inglês *Common Industrial Protocol*)

CLP Controlador Lógico-Programável

ERP Sistema Integrado de Gestão Empresarial (do inglês *Enterprise Resource Planning*)

FCA Fiat-Chrysler Automobiles

HTTP Protocolo de Transferência de Hipertexto (do inglês *HyperText Transfer Protocol*)

IHM Interface Homem-Máquina

LASER Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação (do inglês *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

LATAM América Latina (do inglês *Latin America*)

LED Diodo Emissor de Luz (do inglês *Light Emitter Diode*)

MES Sistema de Execução da Manufatura (do inglês *Manufacturing Execution System*)

NEMA Associação Nacional de Fabricantes de Itens Elétricos (do inglês *National Electrical Manufacturers Association*)

NVAA Atividades Sem Valor Agregado (do inglês *Non Value Added Activities*)

OPC Plataforma Aberta de Comunicações (do inglês *Open Platform Communications*)

OSI Interconexão de Sistemas Abertos (do inglês *Open System Interconnection*)

OVDA Associação de Fornecedores de Dispositivos Open DeviceNet (do inglês *Open DeviceNet Vendors Association*)

PN Modelo ou Série da Peça (do inglês *Part Number*)

RFC Chamada de Função Remota (do inglês *Remote Function Call*)

SAP Sistemas Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados (do alemão *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*)

SCADA Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*)

TCP/IP Protocolo de Controle de Transferência / Protocolo de Internet (do inglês *Transfer Control Protocol / Internet Protocol*)

TI Tecnologia da Informação

UNESP Universidade Estadual Paulista

WCM Manufatura de Classe Mundial (do inglês *World Class Manufacturing*)

WIP Peças Inacabadas (ou Trabalho em Progresso) (do inglês *Work In Progress*)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Fundamentos	22
2.1.1	Chão de Fábrica	22
2.1.2	Controladores Lógicos Programáveis	24
2.1.3	SCADA	27
2.1.4	Sistema MES	28
2.1.5	Sistemas ERP	28
2.2	Revisão da Literatura	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Materiais	32
3.2	Métodos	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	46
A	DIAGRAMA LADDER	47

1 INTRODUÇÃO

A planta da Marelli Cofap do Brasil em Lavras é uma das oito fábricas do Grupo Marelli no Brasil, sendo a única de amortecedores do grupo na América Latina e a maior do mundo em volume de produção, com um volume diário médio de 63.000 peças, divididas entre mercado original (montadoras) e reposição (*Aftermarket* Cofap). Devido a sua participação no grupo *Fiat-Chrysler Automobiles* (FCA), que ocorreu entre 1998 e 2018, a Marelli utiliza como sistema de gestão o *World Class Manufacturing* (WCM). Este sistema possibilitou a redução de custos, melhoria da qualidade, facilitou a identificação e solução de problemas e aumentou a eficiência da planta, por meio da Melhoria Contínua. Tudo isso levou a um aumento no número de clientes, contratos e, conseqüentemente, volume de produção e diversidade de produtos. A portaria 1 da Marelli Lavras pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Portaria Principal da Marelli Lavras.



Fonte: Lavras 24h (2019).

Produzindo os mais variados tipos de amortecedores, a empresa tem um fluxo de produção e logístico extremamente complexo. Estas complexidades, resultado do aumento da variedade e volume de peças produzidas, implicaram em um crescimento dos custos de produção diretos e indiretos. Um destes custos, que se tornou insustentável, foi a divergência de inventário, identificado no levantamento geral realizado em novembro de 2018.

Neste inventário, foi identificada uma divergência na área de acabamento de R\$ 156.954,50 negativos, ou seja, havia menos peças físicas do que constava no sistema. Avaliando as possíveis causas, constatou-se que a divergência provavelmente foi causada pelo método de contabilização e declaração das peças produzidas na montagem, visto que as peças eram pesadas e a partir disso, estimada a quantidade. Além disso, a inserção dos dados no SAP era realizada manualmente, sendo suscetível a erros de digitação. Também com este método, eram necessários dois operadores exclusivos para operar a balança e realizar a declaração manual, impactando em perdas de mão-de-obra direta, devido ao fato de que estes colaboradores não estavam realizando operações que agregam valor ao produto.

Identificadas as causas raízes, iniciou-se, em março de 2019, o desenvolvimento de um sistema de declaração automática. O projeto teve como objetivos a contagem das peças a ser realizada na própria linha de montagem em tempo real, o envio automático da declaração das peças produzidas ao SAP, com o mínimo de intervenção humana possível, e conseqüentemente, a eliminação da necessidade de pesagem dos amortecedores, reduzindo a perda de mão-de-obra. Em junho de 2019, aconteceu o *startup* do projeto, na linha 06 de montagem de amortecedores convencionais, com o sistema conseguindo rodar sem nenhuma necessidade de ajuste.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo descrever a implementação e funcionamento deste sistema, documentando-o na forma de um relatório técnico,

contribuindo para a implementação de projetos similares futuramente, visto que registra informações relevantes do que foi desenvolvido. Com isto, há uma descrição de um sistema de baixo custo que possibilita qualquer indústria que produz em série automatizar a declaração da sua produção, utilizando recursos comuns de automação como sensores de detecção, Controladores Lógico-Programáveis e redes industriais, levando a uma redução em custos fixos e variáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos

2.1.1 Chão de Fábrica

No chão de fábrica, encontram-se os sistemas e dispositivos mais básicos dos sistemas de automação industrial, como as máquinas e equipamentos de produção, geralmente instrumentados com sensores e atuadores. Por sua vez, estes são responsáveis por adquirir informação bruta e atuar em algum ponto do processo, respectivamente.

Os atuadores são dispositivos que permitem a modificação de alguma variável do processo. Estes recebem um estímulo, normalmente elétrico, e os convertem em alguma outra grandeza física que alterará a variável desejada, geralmente, de forma proporcional ao estímulo recebido.

Por outro lado, um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo externo, químico ou físico, convertendo a energia deste sinal em alguma outra forma de energia. Este, normalmente é associado a um transdutor, o qual converte o sinal do sensor em um sinal detectável, amplificando-o e facilitando sua quantificação (FIALHO, 2007).

De forma mais específica, um detector é um tipo de sensor, que detecta a ocorrência de algum fenômeno, sempre que alguma grandeza excede um determinado limiar. Esta classe de dispositivo não necessariamente fornece o valor da grandeza mensurada, podendo fornecer somente o valor binário correspondente a ultrapassagem do valor limiar.

Os sensores podem ser classificados de acordo com os princípios que utilizam, entre eles, destacam-se os sensores ópticos. Estes são sensores que utilizam os princípios da radiação eletromagnética luminosa, seja ela visível ou não-visível. Eles podem trabalhar com base em cinco propriedades, sendo elas:

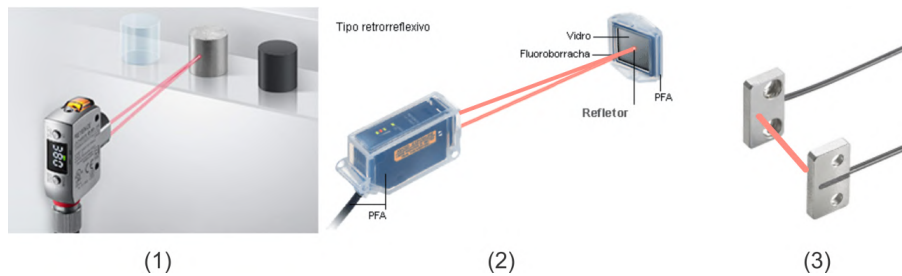
intensidade, fase, frequência, polarização e reflexão, de forma que a intensidade é a mais aplicada, devido ao baixo custo.

Geralmente, os sensores ópticos que utilizam a intensidade luminosa como princípio de medição são detectores de baixo custo, pois a não linearidade que estes elementos apresentam dificulta a medição quantitativa desta grandeza, podendo levar a um elevado erro de medição e baixa precisão e repetitividade (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011).

Estes dispositivos são geralmente compostos por uma fonte luminosa, como um *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) ou um *Light Emitter Diode* LED, um meio de transmissão, um sistema de lentes e um detector, o qual pode ser um foto-resistor, fotodiodo ou foto-transistor (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011). Estes são geralmente voltados para detectar a presença (ou passagem) de peças em uma linha de produção. Eles podem ser configurados de três maneiras: a primeira com a fonte luminosa e o detector embutidos no mesmo dispositivo (nesse caso as peças que se desejam detectar devem fazer a reflexão da luz); a segunda também com a fonte e o detector embutidos no mesmo dispositivo, mas com o uso de um espelho para refletir a luz (e assim criar uma barreira que é interrompida com a passagem das peças); e a terceira, com a fonte e receptor frente a frente, criando também uma barreira. Estas configurações podem ser vistas na Figura 2. Normalmente utiliza-se a segunda configuração, visto que permite uma maior precisão no limiar e utiliza-se somente um cabo para conectar o detector e a fonte (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011).

As principais vantagens de se utilizar sensores ópticos para a detecção de peças são: detecção de peças a grandes distâncias do sensor, baixa interferência magnética e baixo custo de implementação e manutenção, visto que não apresenta partes mecânicas em seu funcionamento (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011). Como desvantagens, pode-se mencionar a possibilidade de interferência

Figura 2 – Possíveis configurações de sensores ópticos.



Fonte: Keyence (2019).

luminosa (dependendo da frequência utilizada), a interferência por partículas sólidas suspensas ou por impurezas que podem se depositar nas lentes (as quais obstruem o sinal luminoso) e a interferência pela variação de cores do objeto a ser detectado.

2.1.2 Controladores Lógicos Programáveis

A *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), define um CLP como:

“Um equipamento eletrônico que funciona digitalmente e que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, registro e controle de tempos, contadores e operações aritméticas para controlar, através de módulos de entrada/saída digitais (LIGA/DESLIGA) ou analógicos (1-5 Vcc, 4-20 mA etc.), vários tipos de máquinas ou processos.”

Sintetizando, um CLP é um dispositivo eletrônico programável, com alto grau de proteção, utilizado para controlar diversos processos de diferentes complexidades, através de interfaces elétricas de entrada e saída de dados (contínuas e/ou binárias).

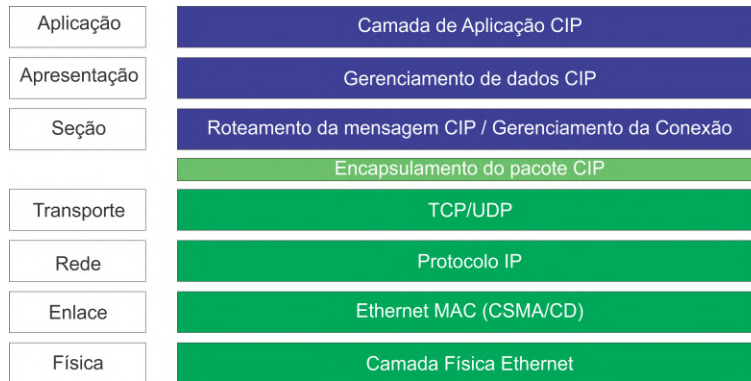
O CLP funciona ciclicamente, ou seja, opera em um *loop* infinito, executando três tarefas básicas: leitura dos estados das entradas, processamento do

programa e atribuição de valores em suas saídas. A leitura dos estados das entradas ocorre com a atribuição dos estados lógicos das entradas digitais e do valor resultante da conversão analógica/digital das entradas analógicas aos registradores de memória correspondentes. A etapa de processamento se dá pelo processamento do código, que geralmente usa os valores das entradas presentes nos registradores para gerar e atualizar os valores nas posições de memória associadas às saídas. Já na última etapa, ocorre a conversão destes sinais lógicos gravados nos registradores para sinais elétricos analógicos ou digitais (FRANCHI; CAMARGO, 2008).

As entradas e saídas digitais e analógicas não são as únicas interfaces de comunicação de um CLP. Geralmente estes conseguem se comunicar com outros dispositivos e sistemas por meio das redes industriais. Estas redes são similares às redes de computadores, mas com seus protocolos e meios de transmissão adaptados para o ambiente industrial.

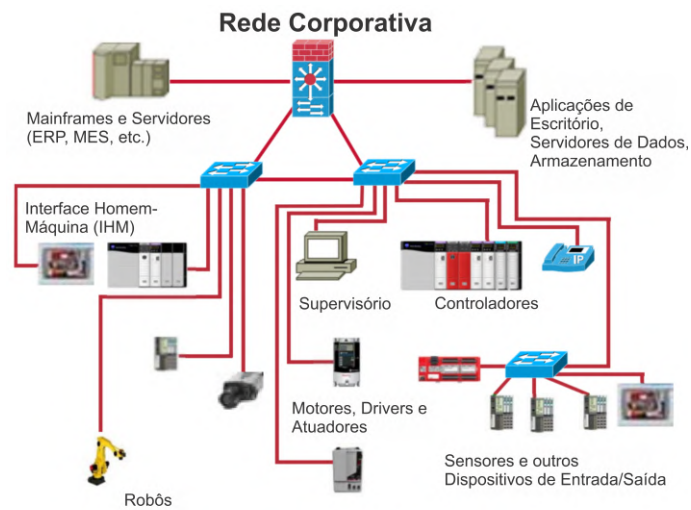
Um dos protocolos mais utilizados por estes dispositivos é o EtherNet/IP™, atualmente gerido pela *Open DeviceNet Vendors Association* (ODVA) e implementado nos dispositivos da Rockwell Automation, detentora da marca Allen Bradley e membro da ODVA. Este protocolo é baseado no protocolo *Transfer Control Protocol / Internet Protocol* (TCP/IP), mas utiliza nas camadas de seção, apresentação e aplicação o chamado *Common Industrial Protocol* (CIP), também gerenciado pela ODVA. Na Figura 3, pode-se ver a organização das camadas usadas para implementar o EtherNet/IP™.

Esta configuração do protocolo CIP™ sobre o padrão Ethernet possibilitou que os CLPs pudessem ser interligados diretamente na rede corporativa industrial, devido à compatibilidade da camada física. Assim, para que os elementos de uma rede corporativa possam comunicar-se com um CLP, basta que o primeiro tenha os drivers de comunicação adequados para ler e escrever dados na memória do último, o que muitas vezes ocorre por meio da tecnologia *Open Platform Communications* (OPC) ou mesmo pelo protocolo *HyperText*

Figura 3 – Rede EtherNet/IP™

Adaptado de: Rockwell Automation (2019).

Transfer Protocol (HTTP) (AUTOMATION, 2015). Isto pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Dispositivos em uma rede EtherNet/IP™

EtherNet/IP

Adaptado de: Rockwell Automation (2019).

2.1.3 SCADA

Com o surgimento de sistemas de automação para plantas complexas, tal como um reator nuclear, os painéis sinópticos tornaram-se gigantescos, com inúmeros botões, luzes indicativas e diversos outros dispositivos, ocupando salas inteiras, como pode ser observado na Figura 5. Isto criou a necessidade de facilitar a visualização e operação dos estados da planta. Com isto, surgiram os sistemas *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA).

Figura 5 – Painel sinóptico da termelétrica Special K, na Hungria



Fonte: Obsidian Urbex Photography (2019).

Para cumprir seu papel, o SCADA realiza operações de leitura e de escrita de valores em determinadas áreas da memória de um CLP, por meio das redes industriais e seus protocolos. Isto permite a ele gerar curvas de tendência e relatórios, apresentar mensagens de alarme para diferentes níveis gerenciais (facilitando a identificação de falhas) entre outros recursos, simplificando a operação do processo e servindo de base de informação para sistemas de mais alto nível, como o *Manufacturing Execution System* (MES) (GARCIA JR., 2019).

2.1.4 Sistema MES

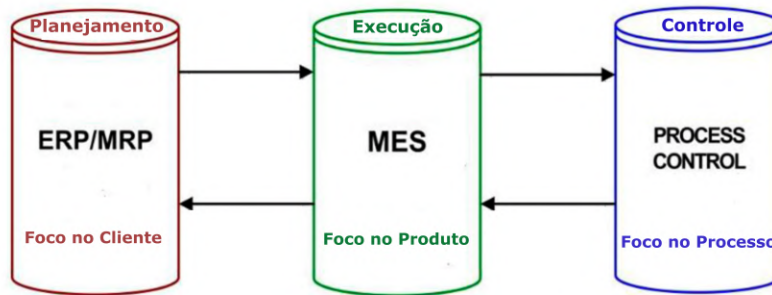
O MES é um sistema computacional usado na indústria para rastrear e documentar a transformação de matéria prima em produto acabado. É a ligação entre o SCADA, o qual adquire os dados e o *Enterprise Resource Planning* (ERP), sistema que gerencia toda a operação empresarial. Ele trabalha em tempo real para prover informação confiável sobre o andamento do processo, para que os engenheiros e responsáveis da fábrica possam tomar decisões assertivas sobre a otimização de recursos e maximização da produção.

O MES pode realizar diversas funções, dentre elas a importação de dados do sistema ERP, parâmetros para a produção, requisição autônoma de materiais para produção, execução da sequência de produção, armazenamento das informações das atividades de produção, dados de qualidade, monitoramento da produção em tempo real e análise do desempenho da produção (HEIKO, 2009). Estas funções permitem a melhoria da eficiência global das linhas de produção, confiabilidade do produto final, suporta a manufatura enxuta e melhoria contínua, reduz os tempos de produção, aumenta a rentabilidade e é a porta de entrada para Indústria 4.0 (ROBERTO, 2018). Na Figura 6 pode-se visualizar a relação entre os sistemas ERP, MES e SCADA.

2.1.5 Sistemas ERP

De acordo com CAIÇARA JR. (2012), um sistema ERP pode ser definido como: “um sistema de informação adquirido na forma de pacotes comerciais de *software* que permitem a integração entre dados dos sistemas de informação transacionais e dos processos de negócios de uma organização”. De acordo com esta definição, para que um *software* possa ser considerado um ERP, este deve ter sido adquirido pronto no mercado. Mesmo que os pacotes de *software* produzidos internamente pela empresa (ou equipe de desenvolvimento contratada por esta) para o cumprimento dos requisitos de um sistema ERP serem desenvolvidos para

Figura 6 – Relação dos sistemas ERP, MES e SCADA.



Fonte: Adaptado de: Cláudio Perin (2019).

atender às necessidades da empresa, estes são altamente customizados e não se atentam às melhores práticas de mercado, que é um dos pontos fundamentais para o sucesso de um sistema ERP.

Além de ser um pacote comercial de *software*, atender as melhores práticas do mercado e não ser desenvolvido para um cliente específico, um sistema ERP também deve utilizar um banco de dados único e corporativo e ser um sistema modular. Portanto, um sistema ERP integra funções de diversos pacotes de *software* utilizados antigamente pelas empresas, convergindo esses dados em uma base de dados única e disponibilizando essas funções em módulos, permitindo assim o cruzamento de dados e facilitando a gestão empresarial.

Um dos principais sistemas ERP do mercado é o SAP ERP, principal produto da SAP AG, empresa alemã líder do mercado de *software* corporativo, abrangendo mais de 86 mil clientes (em sua maioria, empresas de grande porte) (CAIÇARA JR., 2012). O SAP implementa diversos módulos, codificados com a linguagem *Advanced Business Application Programming* (ABAP), proprietária da SAP AG, a fim de contemplar toda a empresa, de forma que cada módulo representa uma área específica, sendo eles:

- SAP MM - *Material Management* (Gestão de Materiais)
- SAP WM - *Warehouse Management* (Gerenciamento de Armazenagem)
- SAP SD - *Sales and Distribution* (Vendas e Distribuição)
- SAP FI - *Financial Accounting* (Contabilidade Financeira)
- SAP PP - *Production Planning and Control* (Planejamento da Produção)
- SAP HCM - *Human Capital Management* (Gerenciamento de capital humano)
- SAP PS - *Project System* (sistemas de Projeto)
- SAP CO - *Controlling* (Controladoria)
- SAP QM - *Quality Management* (Administração de Qualidade)
- SAP PM - *Plant Maintenance* (Planejamento da Manutenção)
- SAP IS - *Industry Solutions* (Soluções Industriais)
- SAP BW - *Business Warehousing* (Armazenamento de negócios)
- SAP RE - *Real Estate* (Imobiliária)

2.2 Revisão da Literatura

Na literatura, pode-se encontrar dois trabalhos bastante relacionados ao tema apresentado neste relatório técnico, ou seja, à alimentação automática de sistemas gerenciais (MES e ERP) a partir de dados disponíveis em um CLP, sendo ambos os casos em unidades brasileiras de empresas multinacionais: uma do ramo agroindustrial e outra do ramo farmacêutico.

No primeiro trabalho, NEUHAUS, DA SILVA e PACHECO (2014), visitaram uma empresa situada no Rio Grande do Sul, fornecedora de soluções para a agroindústria. Lá, os autores realizaram rodadas de entrevistas com funcionários chave para avaliar a implementação do MES na manufatura da

empresa. C Eles conseguiram perceber que o MES facilitou a melhoria contínua, aumentou a qualidade dos produtos e processos, eliminou custos diretos, aumentou a confiabilidade da informação e facilitou a tomada de decisão.

No segundo trabalho, desenvolvido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), NEVES (2011) avaliou a implementação do MES na NOVELIS Brasil Ltda. Também utilizando a metodologia de entrevistas, o pesquisador verificou que o MES melhorou o nível de informação gerada no chão de fábrica, pelo aumento da padronização e confiabilidade. O MES também preencheu uma lacuna entre o ERP e os sistemas de chão de fábrica, como o SCADA, levando ao nível superior, novas informações. Houve também o aumento da competitividade com o uso da rastreabilidade dos produtos, permitindo saber a situação de um produto em tempo real no processo.

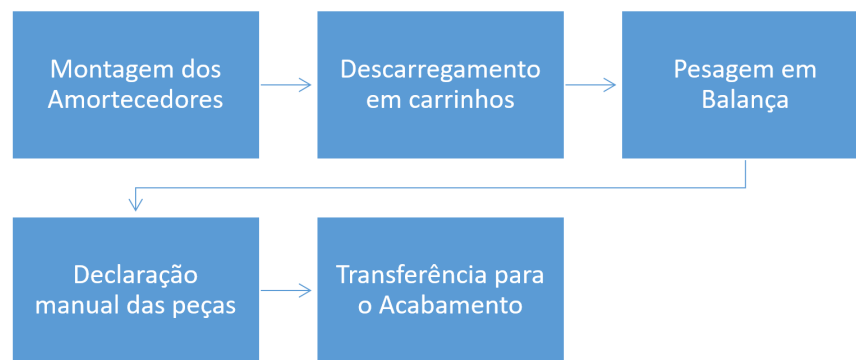
O presente trabalho difere-se dos demais, visto que não descreve os resultados da implementação de um sistema MES completo, mas sim o processo de implementação de uma das funcionalidades deste. Além disto, este trabalho relata a esta implementação em todos os seus detalhes, contrapondo esta solução com o sistema MES completo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O fluxo de declaração da produção manual baseado em valores obtidos com a pesagem das peças em uma balança, o qual era utilizado anteriormente à implementação do sistema, pode ser visto na Figura 7. Primeiramente, havia a montagem (produção) dos amortecedores semiacabados. Para essa etapa ocorrer, era necessário que o setor de logística gerasse uma ordem de produção, a qual era referenciada por um número de identificação e representava um lote de peças. A partir disso, na data programada para a montagem dos amortecedores, o *Team Leader* da linha de montagem imprimia os cartões *kanban* que seriam produzidos naquele turno e iniciava-se a produção.

Figura 7 – Fluxo de declaração manual com balança.



Fonte: Do Autor (2019).

A segunda etapa dava-se pelo descarregamento da produção em carrinhos, conforme pode ser observado na Figura 8. Ela era realizada pelo operador do último passo de montagem, o qual variava de acordo com o produto. Esse realizava a operação no amortecedor e, em sequência, o posicionava no carrinho para transporte. Quando o carrinho estava completo, o abastecedor da célula de acabamento levava-o para a pesagem.

Figura 8 – Amortecedores semiacabados acondicionados em carrinhos.



Fonte: Do Autor (2019).

Sendo assim, o carrinho com amortecedores era levado para uma balança no nível do piso, a balança era tarada com o peso do carrinho e o peso das peças era aferido. Com esse valor em mãos, consultava-se, na estrutura do amortecedor no SAP, o peso teórico de uma unidade e realizava-se a conversão de peso para número de peças.

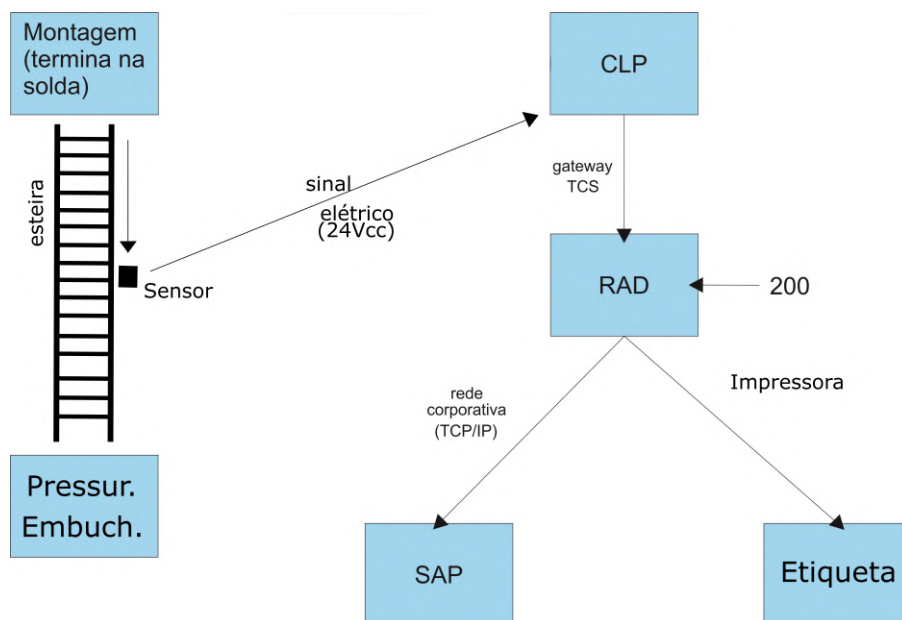
Com esse número em mãos, utilizando o RAD (software de interface com o SAP desenvolvido pelo time de Tecnologia da Informação (TI) da Marelli Itália), o operador da balança declarava manualmente essa produção. Feito isso, transferia-se essas peças para o acabamento, posicionando o carrinho na área.

O fluxo atual de declaração inicia-se de modo semelhante ao fluxo anterior, com a produção do amortecedor. No entanto, diferentemente do procedimento anterior, antes de produzir e, já com o *kanban* em mãos, o *Team Leader* precisa fazer o *setup* do sistema de declaração, digitando sua matrícula e buscando todas as ordens de produção disponíveis no RAD. Além disto, o operador da

solda costura de fechamento do amortecedor precisa digitar na Interface Homem-Máquina (IHM) da máquina o código que determina o tipo do amortecedor a ser produzido, visto que é o CLP desta máquina que comunica-se com o RAD.

Depois de realizadas todas as configurações na linha de produção necessárias para a declaração de produção de amortecedores, o fluxo ocorre conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Fluxo de declaração atual.

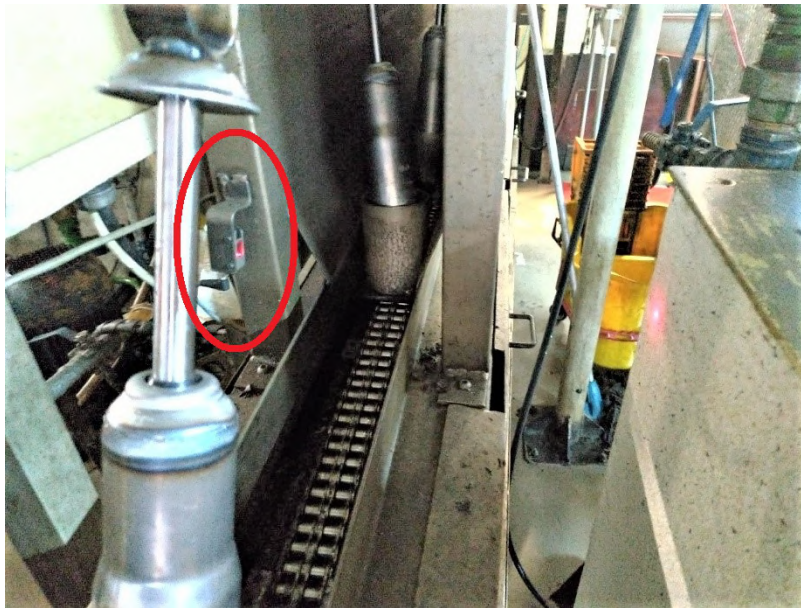


Fonte: Do Autor (2019).

Após realizado o *setup* e iniciada a produção, o operador da solda costura descarrega a peça produzida na esteira transportadora para que ela seja disponibilizada passe pelas operações de pressurização e embuchamento. Nesta esteira, encontra-se o sensor óptico que realiza a contabilização das peças. O sensor foi posicionado antes da última operação da linha de produção, devido aos fatos de que as operações seguintes não são comuns a todos os produtos e não haver refugo nestas operações, somente retrabalho, portanto não há a perda de peças

depois da declaração. Na Figura 10 é possível visualizar a esteira transportadora na qual está instalado o sensor óptico.

Figura 10 – Esteira de contabilização de peças.



Fonte: Do Autor (2019).

No momento em que a peça passa pela esteira e é detectada pelo sensor, e conseqüentemente pelo CLP, este último envia o código contendo o número do amortecedor que está sendo produzido, além da data, hora e número sequencial para o RAD. Devido ao fato de que o *software* RAD, usado para realizar a interface com o SAP, não trabalha com o protocolo CIP™, utilizado pelo EtherNet/IP™ nas camadas superiores do modelo *Open System Interconnection* (OSI), foi necessário utilizar um *gateway* fornecido pela empresa TCS para realizar a interface de comunicação entre o RAD e o CLP.

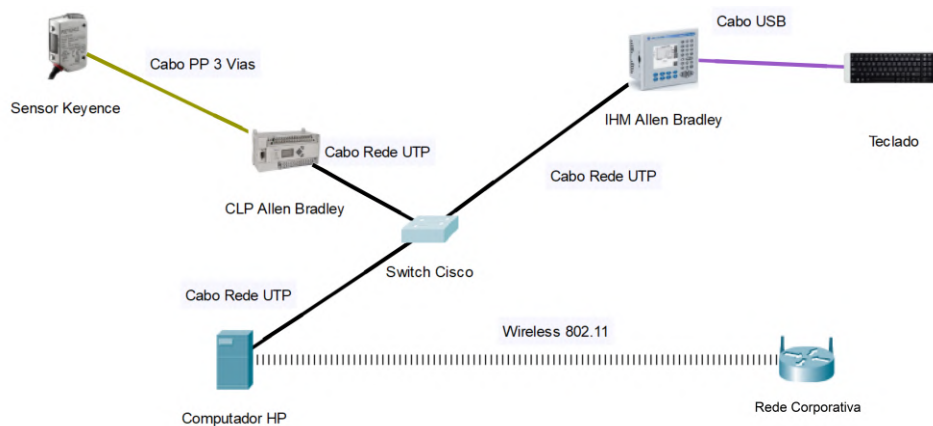
Assim, ao receber estas informações, o RAD realiza a contagem das peças. Quando o contador chega ao valor de peças predeterminado (a capacidade de peças de um carrinho), o RAD realiza a declaração das peças no SAP por meio da rede corporativa e imprime uma etiqueta de identificação para ser colada no carrinho.

Foram utilizados para a implementação do sistema os seguintes itens:

- CLP Allen Bradley Micrologix 1400 (kR\$ 5)
- IHM Allen Bradley PanelView Plus 400 (kR\$ 5)
- *Switch* Cisco 4 portas (kR\$ 5)
- Teclado ABNT2 USB (R\$ 50)
- Sensor de presença Keyence LR-ZB250AP (kR\$ 3)
- Computador HP (kR\$ 4)
- RAD Fast (kR\$ 1, Instalado no Computador)
- TCS Gateway (kR\$ 4, Instalado no computador)

Na Figura 11 é possível visualizar os elementos, descritos na lista anterior, se relacionando em uma rede industrial.

Figura 11 – Arquitetura da Rede do Sistema.



Fonte: Do Autor (2019).

3.2 Métodos

Para realizar a construção do sistema, houveram reuniões iniciais a fim de definir requisitos essenciais. Nessas reuniões, partiu-se do ponto que a declaração das peças deveria realizar-se com a mínima intervenção do operador. Para atender a esse requisito, percebeu-se que se faria necessária a contabilização das peças por meio de uma máquina a qual já estivesse na linha de produção, possibilitando a redução do custo de implementação.

Foi necessário também, definir em qual operação da linha de montagem esta contabilização seria feita. Após diversas sugestões, ficou definido que isso ocorreria no fechamento do amortecedor com solda costura, devido a esta operação ser comum para todos os amortecedores produzidos e não gerar refugo, somente retrabalho.

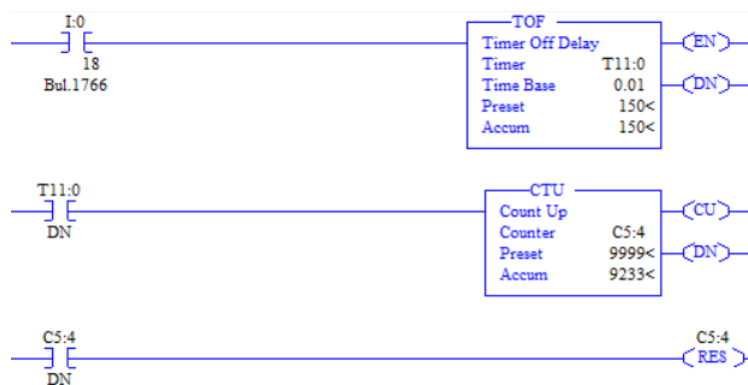
Devido a sequência de produção não ser fixa e tampouco presente em um sistema que pudesse se comunicar automaticamente com o CLP, houve a necessidade de adicionar uma IHM com um teclado ABNT2 para que, ao realizar o *setup* da máquina de solda, o operador informasse ao sistema qual o amortecedor que seria produzido. Para programar e configurar a IHM, foi utilizado o *software FactoryTalk View Studio*, desenvolvido pela Rockwell Automation. Com isto, a IHM recebe o valor digitado e escreve este valor em um campo da memória do CLP, responsável por armazenar o código do amortecedor e o deixar disponível para que este último gere o código a ser enviado ao RAD.

Para realizar a detecção das peças, foi definida a utilização de um sensor óptico com saída digital de 24V, interface elétrica suportada pelo CLP, o qual possui 32 portas digitais neste nível de tensão. O modelo óptico de detecção foi escolhido pelo seu fácil método de configuração e instalação, além de apresentar uma detecção sem contato com as peças, o que eliminou chances de marcas e riscos por sensores de contato, além de uma expectativa de vida útil prolongada, por não apresentar componentes mecânicos. Para programar o CLP, foi utilizada

a plataforma RSLogix 500, também desenvolvida pela Rockwell Automation, devido a sua adequação ao hardware.

Na Figura 12 é possível visualizar o trecho do código em linguagem Ladder onde é realizada a contagem das peças. Foi adicionado um temporizador entre o sinal do sensor e o contador para filtrar oscilações oriundas de variação da coloração da superfície do amortecedor, prevenindo a contagem duplicada.

Figura 12 – Diagrama Ladder da contagem das peças.



Fonte: Do Autor (2019).

Definida a interface, foi a vez de definir o padrão da *string* a ser criada no CLP para a identificação das peças contadas. Cada peça deveria ser representada por um código único e não duplicável, de forma que cada peça fosse declarada somente uma vez. Além disso, outro requisito essencial foi o de que não houvesse divergências entre a declaração e a produção real. Com isso, foi definido que o código iniciaria com o primeiro caractere representado com o número “1”, indicando o início do código. Os próximos 15 caracteres, são compostos pelo código do amortecedor semi-acabado e, em seguida há um número sequencial de quatro dígitos, gerado no CLP por um contador acionado pelo sensor, seguido pela data e horário em que a peça foi detectada na esteira no formato “AAAAMMDDHHMMSS”, finalizado por quatro zeros, mês e dia, respectivamente, totalizando 42 caracteres. Na Figura 13 é possível visualizar um

exemplo do código descrito. Sua implementação em linguagem Ladder no CLP foi realizada internamente na Marelli Lavras.

Figura 13 – Exemplo de código gerado pelo CLP.

1	CÓDIGO	AM.	SEMI-ACA.	SEQ.	DATA	HORA	0000	MMDD
1	SA	3	5	0	0	0	0	4
				7	3	E.	PP	2
				3	7	4	2	0
				1	9	1	0	0
				4	1	6	3	7
						4	1	0
						0	0	0
						0	0	1
								0
								0
								4

Fonte: Do Autor (2019).

Outro ponto levantado foi o de como seria feita a interface com o SAP, visto que o CLP utilizado nas máquinas da linha de montagem não suportaria conexão direta com este ERP. Para isso, o time de TI *Latin America* (LATAM) da Marelli disponibilizou-se para alterar o *software* RAD, já utilizado como interface com o SAP na declaração manual, para que esse pudesse receber a *string* contendo os dados de produção e declará-la.

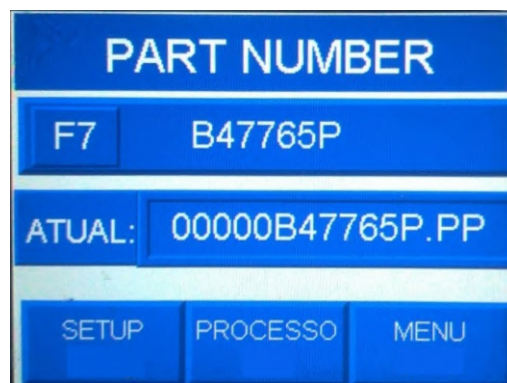
Durante a adequação do RAD, foi identificado que este sistema, por ter como protocolos nas camadas superiores do modelo OSI o HTTP e o *Remote Function Call* (RFC), não poderia se comunicar diretamente com o CLP, devido ao último utilizar o protocolo CIP™. Para isso, foi desenvolvido pela empresa TCS Industrial, utilizando JavaScript e o interpretador NodeJS, um *gateway* para fazer estes dois elementos comunicarem entre si. Este *gateway* funciona basicamente abrindo uma comunicação pela porta 44818 (porta de comunicação em EtherNet/IP™ padrão) com o CLP e uma comunicação em HTTP pela porta 502 com o RAD. Em resumo, sua tarefa é consultar o endereço de memória referente ao código final no CLP e enviar ao RAD a *string* adquirida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após implementado o sistema, a declaração passou a ser feita com a intervenção do *Team Leader* e do Operador, somente no *setup* da linha de montagem. Todo o processo de contabilização das peças produzidas e *upload* de dados para o SAP passou a ser realizado pelo sistema.

O *setup* passou a ser realizado buscando no RAD as ordens de produção abertas no SAP e inserindo o modelo (*Part Number* (PN)) a ser produzido na IHM da máquina de solda do copo do selo. Com isto, o CLP gera o código sequencial e o disponibiliza em um campo da sua memória, o qual é acessado pelo TCS *Gateway*, que resgata este código e o envia ao RAD. Com o código “em mãos”, o RAD busca a ordem de produção mais antiga para aquele PN e realiza a declaração das peças produzidas. Na Figura 14, pode ser visto a tela da IHM onde é inserido o PN pelo operador e na Figura 15 é possível visualizar o *Front-end* do software TCS *Gateway*.

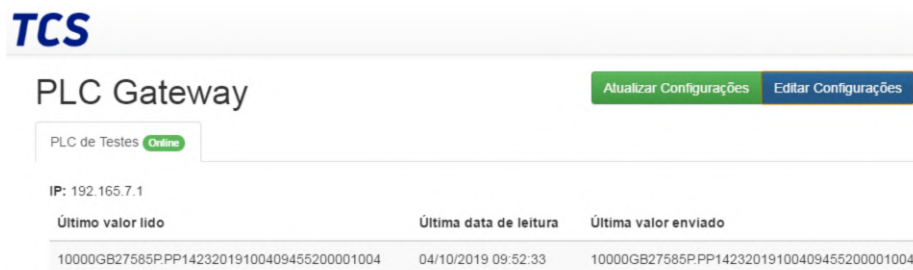
Figura 14 – Tela de *setup* de *Part Number* na IHM.



Fonte: Do Autor (2019).

Após finalizada a ordem de produção e caso não haja uma alteração do PN, o RAD verifica a existência de uma ordem mais recente para aquele PN. Caso não encontre, ele continua contabilizando as peças e armazena o valor em um

Figura 15 – *Front-end* do TCS Gateway.



Fonte: Do Autor (2019).

buffer, para que quando uma nova ordem de produção for emitida, este valor já seja descontado do valor a ser produzido.

A implementação do sistema possibilitou um aumento da eficiência da produção das linhas de montagens, visto que não mais ocorreram divergências entre o produzido e o declarado, além da redução da perda de mão de obra direta por *Non Value Added Activity* (NVAA). Isso foi possível devido a eliminação do posto de pesagem de peças, onde ocorria uma mensuração muitas vezes errônea da quantidade de peças e requeria duas pessoas na sua operação.

No final, o sistema reduziu anualmente em kR\$ 118 em custos com mão de obra direta¹, frente aos kR\$ 12 e kR\$ 32 investidos em reuniões e equipamentos. Isso levou a um resultado de kR\$ 72 economizados nos 12 primeiros meses.

Devido ao modo que foi implementado, o SAP não consegue diferenciar a produção por linha, aglutinando a produção de todas as linhas. Com isso, não foi possível mensurar o impacto real da implementação na divergência de inventário, visto que o sistema foi implementado em uma das seis linhas de montagem de amortecedores. Além da implementação do sistema em uma linha, isso ocorreu também devido as outras linhas estarem declarando as peças baseado no contador de peças soldadas (devido a retirada da balança), o qual não apresenta um valor

¹ Cálculo realizado com base nos custos de um operador nos doze meses anteriores.

Valores disponibilizados pela Controladoria da Marelli Lavras.

Tabela 1 – Divergências dos inventários gerais de 12 meses.

Inventário	Divergência em R\$
Nov/18	-156.954,50
Mar/19	-585.695,60
Abr/19	-195.987,50
Ago/19	509.259,30

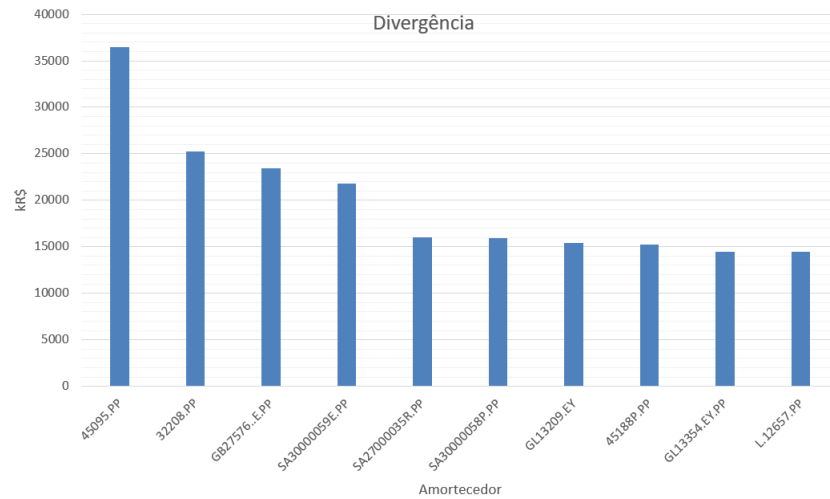
Fonte: Do Autor (2019)

real de peças, visto que não é possível desabilitar a contagem durante o retrabalho de alguma peça com defeito. Os valores das divergências podem ser verificados na Tabela 1.

Mesmo não sendo possível mensurar precisamente a influência do sistema na redução da divergência, foi constatado seu bom funcionamento ao acompanhar a declaração das peças e sua produção durante um mês, não sendo encontradas divergências. É possível verificar, na Figura 16, que os 10 dos amortecedores que apresentaram maior divergência não são produzidos nesta linha de montagem, visto que cinco destes itens são produzidos na linha 3, três na linha 4 e 2 na linha 7.

Diferentemente do MES, que é um sistema completo, este somente controla a declaração dos itens produzidos, não deixando haver divergência. Com o MES, haveria a possibilidade de prever a falta de componentes para a montagem, eliminando paradas de linhas internas e de clientes. O MES também possibilitaria verificar quebra de fluxo e garantir a declaração de peças realmente prontas e sem defeitos de qualidade, possibilitar a rastreabilidade precisa das peças produzidas, além de, devido ao controle automático do estoque, reduzir a quantidade de componentes e *Work In Progress* (WIP) na planta.

Tudo isso resultaria em ganhos de produtividade, qualidade, estoque e redução de multas de contratos, mas este não foi implementado devido a necessidade de uma solução mais imediata para a divergência. Mesmo assim, o

Figura 16 – TOP 10 da divergência negativa por modelo de amortecedor.

Fonte: Do Autor (2019).

sistema descrito neste trabalho conseguiu apresentar ganhos significativos, mesmo com sua simplicidade.

5 CONCLUSÃO

Portanto, foi feita a descrição da implementação de um sistema automático de declaração de produção de amortecedores na Marelli em Lavras-MG, a fim de melhor integrar a linha de produção de amortecedores com o SAP, declarando a produção automaticamente.

Como descrito ao longo de todo o trabalho, o sistema foi implementado com sucesso e cumpriu com todas as expectativas, visto que conseguiu reduzir a necessidade de dois operadores exclusivos para a declaração e, mesmo não permitindo demonstrar os ganhos monetários com divergência de inventário, os testes realizados, possibilitaram a validação da eliminação das divergências naquela linha.

Com isto, foi possível atingir os objetivos de redução da perda de mão-de-obra, padronização e proteção à erros de digitação dos dados de declaração e eliminação de divergências. Tudo isto deu-se com a automação do processo e redução da intervenção humana. Como consequência, o trabalho torna-se relevante, pois demonstra que é possível atingir resultados satisfatórios com baixo investimento, mas também demonstra que resultados ainda maiores, mais relevantes e em diversos setores da planta podem ser alcançados com a implementação de um sistema completo, tal como o MES.

Também, ao longo do trabalho, pôde-se perceber que o sistema foi descrito de forma bastante detalhada, possibilitando ao leitor implementar um sistema similar em uma linha de produção em série, além de realizar melhorias e adaptações. O trabalho também adiciona à literatura, a descrição de um sistema de declaração simples e de baixo custo, mais acessível que um sistema MES.

REFERÊNCIAS

- AUTOMATION, ROCKWELL. **Fundamentos da Rede EtherNet/IP**. [S.l.: s.n.], 2015. <https://www.rockwellautomation.com/resources/downloads/rockwellautomation/bra/pdf/t02-fundamentos-da-rede-ethernetip.pdf>. [Online; Acessado em: 28/09/2019].
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 2.
- CAIÇARA JR., C. **Sistemas Integrados de Gestão. ERP. Uma Abordagem Gerencial**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2012.
- FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2007.
- FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. de. **Controladores Lógicos-Programáveis: Sistemas Discretos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.
- GARCIA JR., E. **Introdução a Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados - SCADA**. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.
- HEIKO, M. **Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning and Deployment**. 1. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2009.
- NEUHAUS, C. A.; DA SILVA, M. G.; PACHECO, D. A. J. IMPLICAÇÕES DE MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS NA GESTÃO DA QUALIDADE INDUSTRIAL. **Revista GEINTEC**, v. 4, n. 5, p. 1489–1500, 2014.
- NEVES, J. M. S. das. **Contribuições da implantação da tecnologia de informação MES - Manufacturing Execution System - para a melhoria das dimensões competitivas da manufatura - estudo de caso NOVELIS Brasil LTDA**. 2011. Tese – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

ROBERTO, O. de L. MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM: A UTILIZAÇÃO DO SISTEMA MES DENTRO DO CONCEITO DA INDÚSTRIA 4.0. 2018. TCC – Faculdade Pitágoras Poços de Caldas, Poços de Caldas.

A DIAGRAMA LADDER

