



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



CLAUDINEI MARQUES
RONALDO KLOSS
SILVIO VIEIRA
VINICIUS BARUFFI

**GANHO DE PRODUTIVIDADE PELA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA
DE GERENCIAMENTO DE MANUFATURA EM CÉLULA DE
SOLDAGEM ROBOTIZADA**

CURITIBA
2021

—

CLAUDINEI MARQUES
RONALDO KLOSS
SILVIO VIEIRA
VINICIUS BARUFFI

**GANHO DE PRODUTIVIDADE PELA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA
DE GERENCIAMENTO DE MANUFATURA EM CÉLULA DE
SOLDAGEM ROBOTIZADA**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA
2021**

RESUMO

Atualmente está cada vez mais perceptível, e de certa forma tornando-se obrigatória, o comprometimento das empresas em implementar medidas com objetivo de melhorar seus indicadores de produtividade e conseqüentemente reduzir custos e desperdícios nos processos produtivos. Vários aspectos são responsáveis por esta situação, e entre eles estão a concorrência e maior competitividade, a busca pela sustentabilidade dos negócios e ainda recentemente as crises econômicas e sanitárias, onde as organizações viram-se na necessidade de encontrar ou desenvolver soluções que possam agregar e transformar dados em informações úteis para melhorias nos sistemas produtivos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar a implementação de um sistema de gerenciamento de manufatura em uma célula de soldagem robotizada dentro de uma indústria de fabricação de peças automotivas, onde este processo tornou-se um dos gargalos e os dados de produção não vinham sendo monitorados, gerando perdas de tempo, de produção e custos desnecessários. Esta implementação foi possível devido a utilização de tecnologias desenvolvidas a partir de soluções da indústria 4.0, que já estão disponíveis e podem ser facilmente agregadas a sistemas já existentes, tornando-os mais eficientes, competitivos e reduzindo desperdícios que geram custos não desejados.

Palavras-chave: Gerenciamento, eficiência, OEE, custos, soldagem, robô.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de célula de soldagem robotizada.	6
Figura 2 – Dados de produção do produto H464 no período.....	7
Figura 3 – Dados de OEE do produto H464 no período	7
Figura 4 – Levantamento de paradas de máquina no período	8
Figura 5 – Ilustração da utilização de tecnologias como big data.....	11
Figura 6 – Linha de fabricação automotiva	12
Figura 7 – Diferença e conceito de OEE e TEEP	15
Figura 8 – Índices de classe mundial para OEE.....	16
Figura 9 – Fluxograma das principais etapas do trabalho	17
Figura 10 – Configuração física da célula de soldagem robotizada.....	19
Figura 11 – Arquitetura do sistema	20
Figura 12 – Resumo das propostas enviadas pelos fornecedores	23
Figura 13 – Combinações possíveis entre as janelas 1 e 2.....	24
Figura 14 – Fluxograma produtivo da Célula de solda Robotizada.....	25
Figura 15 – Cronograma macro de execução e implementação do sistema JAD	26
Figura 16 – Tela de interação do operador.....	27
Figura 17 – Tela Dashboard	28
Figura 18 – Tela Janelas	29
Figura 19 – Planejado x realizado no período de acompanhamento	31

CONTEÚDO

RESUMO.....	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iii
CONTEÚDO.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.3. JUSTIFICATIVA.....	6
1.4. HIPÓTESE.....	9
1.5. OBJETIVO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO AUTOMATIZADOS E BIG DATA.....	11
2.2. ROBÓTICA E SERVIÇOS.....	12
2.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	13
2.4. INDICADORES DE DESEMPENHO.....	14
3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	17
3.1. PLANEJAMENTO.....	18
3.1.1 Funcionalidades do Sistema.....	18
3.1.2 Definição dos Requisitos.....	18
3.1.3 Definição das Premissas.....	19
3.1.4 Definição das Tecnologias.....	19
3.2. EXECUÇÃO.....	22
3.2.1 Seleção de Fornecedores.....	22
3.2.2 Concepção da Lógica.....	23
3.2.3 Testes do Sistema.....	25
3.2.4 Escolha do Software.....	26
3.3. CONTROLE.....	27
3.3.1 Interface Homem-Máquina.....	27
3.3.2 Coleta de Dados.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	31
5. CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

As empresas de um modo geral estão cada vez mais focadas em encontrar soluções que possam gerar melhorias e redução de custos em seus processos produtivos, pois a competitividade criada pela concorrência não deixa dúvidas da necessidade de se produzir com mínimo possível de desperdícios e gastos. Deste modo, a Engenharia 4.0 vem de encontro com estas necessidades e já existem inúmeras possibilidades as quais podem ser implementadas em todos os tipos de processos e indústrias, visando não só ganhos financeiros para as empresas, como também ganhos em qualidade de vida e segurança para os colaboradores destas organizações.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Neste contexto, cada vez mais as indústrias de forma geral buscam por aumentar sua produtividade e reduzir os custos durante o processo de manufatura, e com isso vem a importância da identificação das perdas, porém, muitas vezes as informações relevantes para que se tenham os dados necessários não estão claros, dificultando a análise, pois sabe-se que ainda hoje muitos processos de manufatura nas indústrias não possuem um controle de produção e paradas, sendo elas por diversos motivos. Atrelado a isso, os desperdícios dos processos não são identificados, portanto não é possível atacar o problema para reduzi-los. Vem daí a necessidade das empresas de monitorar seus processos afim de mitigar suas perdas e é através de algumas ferramentas da indústria 4.0 que podem auxiliar nesse controle.

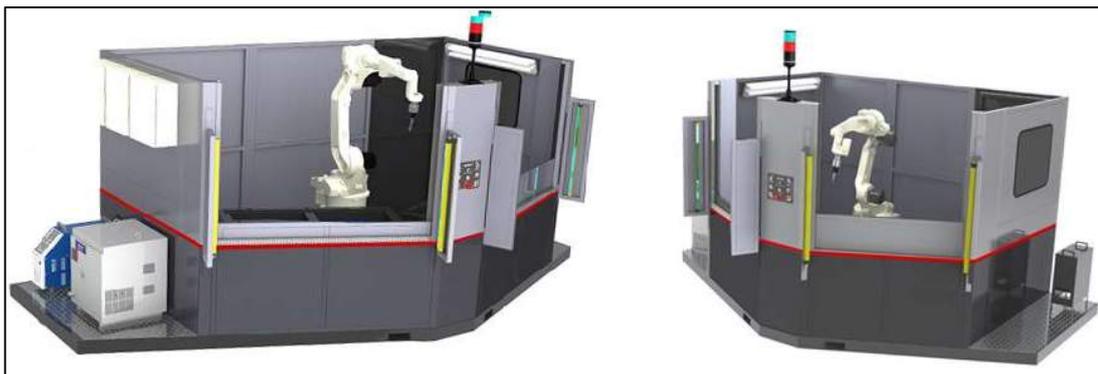
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A soldagem é um processo onde os materiais são fundidos através do aquecimento, e da mistura de gases, e ao resfriar-se tem-se uma união entre os componentes. Células robotizadas são normalmente utilizadas onde há um processo repetitivo de soldagem e que necessita de velocidade e qualidade. Uma célula de soldagem robotizada traz inúmeras vantagens ao processo produtivo, como tempos de ciclos mais rápidos e estáveis, melhor qualidade nos pontos e/ou cordões de solda,

além de proporcionar um ambiente de trabalho muito mais seguro ao operador e as demais pessoas em seu entorno.

Na Figura 1 abaixo é possível ver a imagem de uma célula de soldagem robotizada similar ao equipamento fruto deste trabalho.

Figura 1 – Exemplo de célula de soldagem robotizada



Fonte: SUMIG (2021)

Atualmente em uma célula de soldagem robotizada, os apontamentos de produção, parada da célula, refugos e tempos de ciclo são feitos de forma manual pelos próprios operadores. Desta maneira, diversos problemas são observados, pois existe uma deficiência neste apontamento, seja por esquecimento ou imprecisão de dados. Com isso, não se tem as informações precisas e não se conhecem os dados reais de produção e de perdas, pois as paradas e seus motivos também não são registrados, causando uma demora na resolução, devido à falta destas informações.

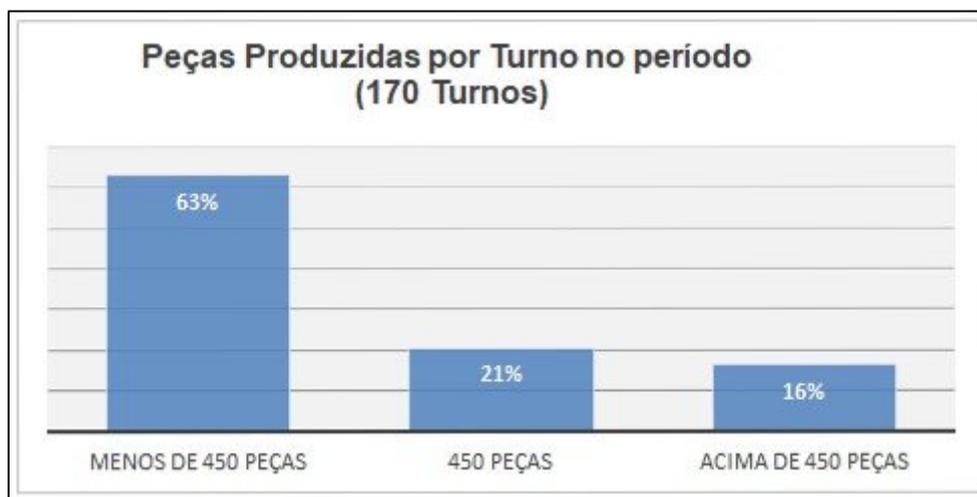
1.3. JUSTIFICATIVA

O problema identificado e que se espera minimizar, é o desperdício de recursos e a geração de custos desnecessários devido à falta de informações do equipamento e da real produtividade, uma vez que não há um controle automático para isto, lembrando que estes apontamentos são feitos de forma manual.

É possível entender este problema a partir de um levantamento de dados realizado através dos apontamentos manuais (Diário de bordo) de um determinado período para um produto específico, conforme demonstrado a seguir: O produto específico utilizado para este levantamento de dados é aqui denominado H464, e os dados foram retirados de 170 turnos de produção, aproximadamente 6 meses. Para

este item específico, a meta de produção por turno é de 450 peças, e os dados podem ser visto na Figura 2.

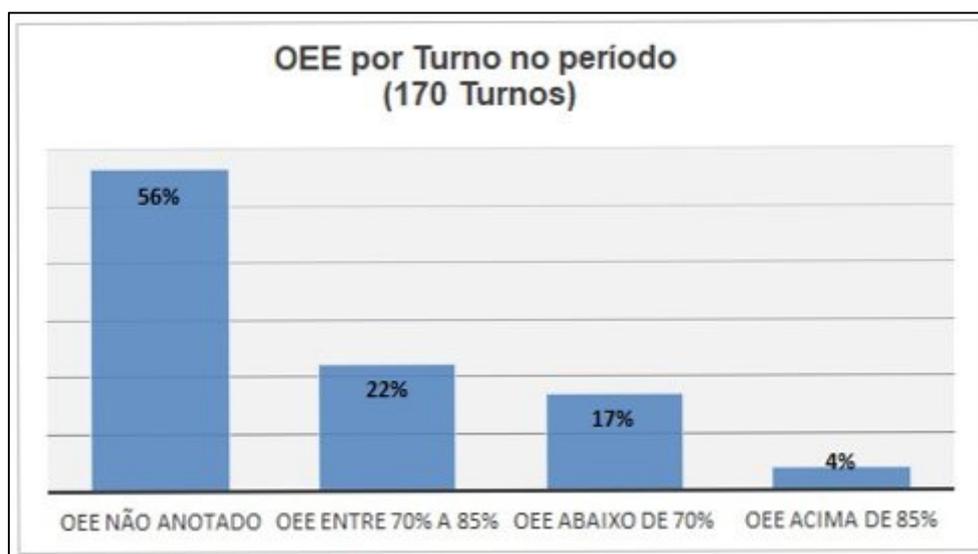
Figura 2 – Dados de produção do produto H464 no período



Fonte: AUTORES (2021)

Em paralelo com a meta de produção, há também o objetivo de atingimento de 85% de OEE, o qual é calculado através de uma planilha de Excel onde o operador entra com os valores de forma manual, os resultados encontrados deste levantamento são demonstrados na Figura 3.

Figura 3 – Dados de OEE do produto H464 no período



Fonte: AUTORES (2021)

Na Figura 4, tem-se no mesmo período as informações coletadas de paradas de máquina, onde se tem apenas o motivo da parada considerando cada uma, um evento, sem demonstração do tempo atrelado a cada parada.

Figura 4 – Levantamento de paradas de máquina no período



Fonte: AUTORES (2021)

Pode-se perceber através do levantamento acima, que com a falta do controle em tempo real não se tem um valor de tempo de ciclo determinado, sendo proposto apenas uma meta final de peças produzidas no final do turno, além disso, em mais de 60% dos turnos a meta de produção não foi atingida (Figura 1), verificou-se que no período, houveram 149 eventos de paradas da célula (Figura 3), porém não se tem o tempo de cada parada, e quanto isso realmente impactou na produtividade total, ou seja, não se pode ter a garantia de que as paradas mais frequentes são a causa das maiores perdas de produtividade e vice-versa. Paralelo a isso, o controle de OEE, que deveria ser preenchido via planilha Excel pelo operador, em mais da metade dos turnos, não houve anotação, e nos casos onde se registrou não há evidências dos tempos de paradas e de produção reais.

Com isso, pode-se chegar à conclusão que no período avaliado (170 turnos) deveriam ser produzidas 76.500 peças (meta de 450 por turno), porém foram

produzidas 64.855 peças (média de 381,5 por turno), ou 11.645 a menos que a meta estipulada. Considerando que o custo médio aproximado das peças desta operação é de R\$ 12,00, e considerando 11.645 peças deixadas de produzir *versus* o valor médio aproximado, estima-se que durante o período (~6 meses) foram perdidos aproximadamente R\$139.740,00 em peças não produzidas (apenas do produto em questão). Além disso, levando em conta que se produziu 15% a menos do que a meta, entende-se que se deixou de utilizar a mesma porcentagem de valor do recurso mão de obra.

Desta forma, para auxiliar nestes registros, um sistema de gerenciamento de manufatura pode fazer esse controle e mostrar em tempo real todos os dados pertinentes para que a gestão possa agir caso ocorra algo inesperado. Este sistema proporcionará a coleta de dados da Célula em termos de produtividade e eficiência, assim como receber dados de falhas de modo que se possa realizar ações preventivas para melhorias de processos e manutenções.

1.4. HIPÓTESE

Através do uso de sensores para controle de produção, como a contagem de peças, pode ajudar em uma melhor assertividade de quantidades de peças produzidas, somado a um controle como é realizado atualmente que pode ser melhorado com a utilização de planilhas dedicadas para cálculos de produtividade e informações de paradas, porém isto não eliminaria o fato dos dados terem que ser alimentados manualmente, o que gera uma grande variável de erros e possibilidade da falta de anotação, além da não garantia de se obter os dados em tempo real, que prejudica um diagnóstico mais preciso, mesmo que se tenha um planejamento de manutenção preventiva que evite a quebra de componentes.

1.5. OBJETIVO

A proposta deste trabalho é aplicar um sistema de gerenciamento de manufatura em uma célula de soldagem robotizada, afim de registrar e controlar paradas da célula, produtividade, OEE e refugos, demonstrando ao final os ganhos reais da utilização de tecnologias 4.0 disponíveis, para tanto espera-se obter ganhos de cerca de 15% na produtividade, ou seja, considerando os dados levantados, a

implementação do sistema deveria trazer um aumento na quantidade de peças produzidas, conseguindo assim atingir a demanda planejada, que é uma das metas do departamento de planejamento e controle de produção, que visa um atendimento entre 90% a 110% do índice de BTS (*build to schedule*).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No atual cenário em que as empresas estão vivendo, onde a grande competitividade e a necessidade de otimização dos processos estão cada vez mais presentes, alternativas para redução de custos e crescimento sustentável tem se tornado cada vez mais importantes no dia a dia dos processos de produção. Aliado a isso, as empresas vêm enfrentando mudanças extremamente rápidas, pois dado a inúmeras incertezas e crises a nível internacional, as adequações para que se possa continuar competitivas são obrigatórias e pedem grandes mudanças de comportamento, e neste contexto, pode-se perceber que há sempre espaço para tais melhorias (HARDT et al, 2013).

2.1. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO AUTOMATIZADOS E BIG DATA

O aproveitamento de tecnologias como big data, por exemplo, ou sistemas de gerenciamento com características similares, permitirão decisões melhores e mais rápidas, para uma ampla gama de diferentes indústrias e aplicações. A tomada de decisão automatizada pode reduzir complexidades, permitindo que empresas e até mesmos governos prestem serviços em tempo real, com qualidade muito além do que seria esperado com sistemas não automatizados (SCHWAB, 2016). A Figura 5, ilustra como a utilização de tecnologias pode coletar dados diversos e transformar em informações claras e precisas para tomadas de decisões.

Figura 5 – Ilustração da utilização de tecnologias como big data



Fonte: RIBEIRO (2020)

A redução de complexidades nas operações devido ao uso de novas tecnologias, como as mencionadas anteriormente, não traz apenas vantagens

comerciais de curto prazo. É importante notar que os dados armazenados podem servir para estudos futuros, abrindo possibilidades para inovações e novas descobertas (SCHWAB, 2016).

Por outro lado, sistemas gerenciados de forma automatizada, que substituem processos manuais, tendem a fazer certos empregos se tornarem obsoletos. Em longo prazo, isto é compensado pela criação de novas oportunidades e categorias de empregos que nem sequer existem no mercado atualmente. Outra desvantagem que precisa ser citada é a fragilidade do sistema com relação ao vazamento de informações. Uma vez que as operações da indústria estarão cada vez mais dependentes de dados, será também cada vez mais comum que estas informações sejam cobiçadas por concorrentes ou pessoas mal-intencionadas (SCHWAB, 2016).

2.2. ROBÓTICA E SERVIÇOS

A Robótica está influenciando muitos postos de trabalho, desde a produção até a agricultura e serviços de varejo. De acordo com a *International Federation of Robotics* (IFR), na fabricação de um carro, por exemplo, as máquinas são responsáveis por cerca de 80% do trabalho (SCHWAB, 2016). A IFR também estima que em 2020, houve um recorde de robôs em operação, chegando a aproximadamente 2,7 milhões de unidades, com expectativa de crescimento para os próximos anos (PEREIRA, 2020). Na Figura 6 é possível visualizar uma linha de fabricação automotiva sendo realizada por robôs.

Figura 6 – Linha de fabricação automotiva



Fonte: AUTOMOTIVE BUSINESS (2019)

Globalmente, a Covid-19 teve um forte impacto em 2020 – mas também ofereceu uma chance de modernização e digitalização da produção a caminho da recuperação. No longo prazo, os benefícios de aumentar as instalações de robôs permanecem os mesmos: a rápida produção e entrega de produtos personalizados a preços competitivos são os principais incentivos. A automação permite que os fabricantes mantenham a produção em economias desenvolvidas, ou restaurem-na, sem sacrificar custos. A gama de robôs industriais continua a se expandir, de robôs enjaulados tradicionais, capazes de lidar com todas as cargas úteis com rapidez e precisão, a novos robôs colaborativos, que trabalham com segurança ao lado de humanos, totalmente integrados em bancadas de trabalho (PEREIRA, 2020).

2.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A inteligência artificial está se transformando no motor universal da execução. Com a tecnologia digital definindo cada vez mais "tudo o que fazemos" e possibilitando um número crescente de tarefas e processos, a inteligência artificial está se tornando a nova base operacional dos negócios, passando a ocupar o núcleo do modelo operacional de uma empresa e definindo a maneira como ela conduz a execução das tarefas. A inteligência artificial não só está substituindo e suplantando a vida humana, como está mudando o próprio conceito de empresa (IANSITI & LAHKHANI, 2021).

Deste modo, as primeiras implicações verdadeiramente drásticas da inteligência artificial podem resultar menos de simular a natureza humana e mais de transformar a natureza das organizações e maneiras como elas afetam o mundo que nos cerca (IANSITI & LAHKHANI, 2021).

Em um modelo operacional digital, os seres humanos podem até ter concebido e criado os sistemas operacionais, mas os computadores é que fazem o trabalho em tempo real, realizando tarefas como pintar determinadas peças mecânicas, estabelecer preços e cotações, recomendar um produto em algum aplicativo móvel ou até mesmo qualificar um cliente para receber um possível empréstimo. Todos estes processos tradicionalmente requereriam a inteligência humana, não só para conceber, mas também para executar o processo (IANSITI & LAHKHANI, 2021).

Ter um software definindo o caminho crítico da execução operacional leva a importantes ramificações. Os processos digitais orientados pela inteligência artificial são mais escaláveis que processos tradicionais. Eles possibilitam um escopo mais amplo (uma variedade maior), pois se conectam com facilidade com uma miríade de outros negócios digitalizados e criam grandes oportunidades de aprendizagem e aprimoramento, como a capacidade de gerar projeções cada vez mais precisas, complexas e sofisticadas e até estender e aprofundar enormemente o entendimento. Com isso, as redes inteligentes estão transformando as bases operacionais das empresas, possibilitando uma escala, um escopo e um aprendizado digital, derrubando barreiras tradicionais que passaram séculos restringindo o crescimento e o impacto das empresas (IANSITI & LAHKHANI, 2021).

2.4. INDICADORES DE DESEMPENHO

Para que uma empresa alcance ótimos resultados, uma tarefa é gerenciar corretamente seus processos. Entretanto para que seja possível fazer o controle de um processo é necessário ter indicadores e dados, é necessário medir o processo a ser gerenciado. “Gerenciar é controlar e agir corretamente. Sem controle não há gerenciamento. Sem medição não há controle”. (JURAN, 1992).

Com base nisso, existem indicadores, conhecidos como KPI (*Key Performance Indicator*) que servem para mostrar se determinada atividade está apresentando os resultados esperados pela empresa (WARREN, 2021).

Os indicadores KPI's possuem características específicas como:

- Devem ser mensuráveis, possíveis de medir;
- Devem ser quantificáveis, possivelmente em reais;
- Devem ser específicos, focar em uma única ação;
- Devem ser temporais, medir ao longo do tempo;
- Devem ser relevantes, que realmente influenciam no processo e que se deseja analisar.

Outro importante indicador é conhecido como OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), ou Eficiência Global do Equipamento, que monitora e auxilia na melhoria dos processos industriais (como máquinas, linhas de montagem, células, etc.). Ele classifica em três categorias as fontes mais comuns de perdas em

Disponibilidade, Eficiência e Qualidade. Desta forma, disponibiliza informações de fácil entendimento para a formação de um único indicador para determinar a eficiência real do equipamento, servindo também com base de dados para implantação de ferramentas para melhorar esta eficiência (VINCE, 2021).

A disponibilidade mede as perdas não planejadas da produção, ou seja, eventos que param a produção por um período de tempo. A eficiência mede as perdas por ciclos demorados, ou seja, procedimentos que levam mais tempo do que o necessário. A qualidade mede as perdas devido a componentes que não atenderam as especificações. O OEE traz uma consistência, provando ser uma forma de medida eficiente para as iniciativas de manufatura enxuta, programas de manutenção e outras iniciativas de produtividade.

Existe também o TEEP (*Total Effective Equipment Productivity*), ou Produtividade Efetiva Total do Equipamento que mede a efetividade total do equipamento em relação ao Tempo Total, ou seja, 24 horas. Esta informação auxilia na tomada de decisões para melhoria do processo, como alocação de horários de trabalho, reparo ou compra de equipamentos e planejamento de produção através da medição da capacidade potencial da operação.

Os indicadores OEE e TEEP se complementam, e é indicado que sejam utilizados em conjunto, especialmente em processos que são gargalo. O OEE mostra os eventos que causam a perda de capacidade durante o tempo planejado para produzir, enquanto o TEEP aborda as oportunidades não utilizadas em relação à capacidade total (VINCE, 2021). A Figura 7 ilustra a diferença e o conceito de cada indicador.

Figura 7 – Diferença e conceito de OEE e TEEP



Fonte: VINCE (2021)

Para indústrias de produção em massa, geralmente um OEE de classe mundial é considerado igual ou melhor que 85% conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Índices de classe mundial para OEE

ÍNDICE	CLASSE MUNDIAL
OEE	85%
Disponibilidade	90%
Eficiência	95%
Qualidade	99,9%

Fonte: VINCE (2021)

Apesar de ser uma referência mundial, os processos são diferentes uns dos outros e pode ser que estes valores sejam baixos para algumas empresas ou muito elevados para outras. A Disponibilidade é bastante afetada pelo tempo e frequência de trocas de produto, pelo tipo de manutenção e outros fatores que estão atrelados ao processo de produção. Logo, dependendo do processo, pode ser que uma Disponibilidade de 60% seja de classe mundial.

É evidente que existe um vasto potencial de melhorias na maioria das indústrias. Pode-se imaginar o que um aumento de 40% em produtividade (aumentar o OEE de 60% para 85%) poderia fazer para a competitividade e rentabilidade de uma empresa.

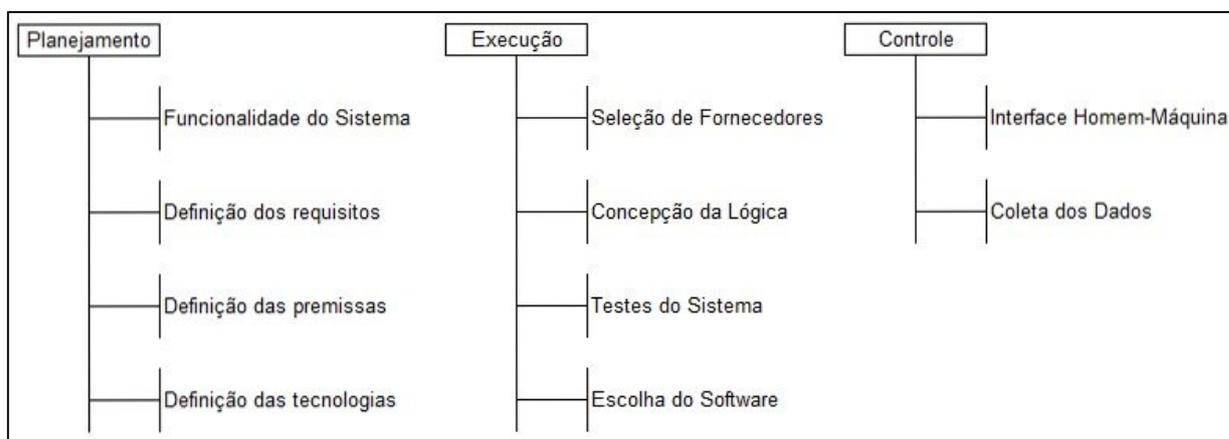
3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo de caso descrito neste trabalho refere-se à implementação de um sistema de gerenciamento de produção aplicado em uma célula de soldagem robotizada em uma empresa metalúrgica do setor de autopeças. O parque fabril da referida empresa é composto principalmente por máquinas e equipamentos de montagens e conformação a frio, sendo a célula de solda robotizada, instrumento deste estudo, o único equipamento a realizar o processo de fabricação de soldagem.

Durante a aquisição do equipamento não se detectou a necessidade de um gerenciador de produtividade, uma vez que não se tratava de uma máquina crítica no processo produtivo da empresa, porém passado alguns anos houve uma mudança na estratégia, onde este equipamento passou a ser um “gargalo” no fluxo do processo, entendeu-se então a necessidade do acompanhamento dos dados e resultados durante a produção, objetivando um melhor aproveitamento do equipamento. Com isso foi apresentado a gerencia da empresa uma possibilidade de implementação de uma ferramenta que pudesse adquirir e disponibilizar dados e informações para que possam ser utilizadas como base para tomadas de decisões e desta forma otimizar e melhorar o desempenho do equipamento.

O planejamento e execução deste trabalho foram realizados seguindo algumas etapas, as quais são descritas na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma das principais etapas do trabalho



Fonte: AUTORES (2021)

3.1. PLANEJAMENTO

Após a identificação da necessidade e apresentada a possibilidade de implementação da ferramenta, iniciou-se a fase de planejamento do trabalho, onde foram levantados os requisitos necessários para que o sistema possa cumprir para obtenção dos resultados esperados.

3.1.1. Funcionalidades do Sistema

Durante o planejamento, entendeu-se que o sistema deveria ter algumas funcionalidades mínimas para que as informações obtidas fossem as mais claras possíveis, trazendo a possibilidade de ações imediatas e análises posteriores para soluções de melhorias. Desta forma gerou-se um escopo com as funcionalidades definidas abaixo:

- Gestão visual em tempo real do status do equipamento;
- OEE em tempo real;
- Tempos de ciclo em tempo real;
- Dados de Produção – produto, lote, quantidades produzidas;
- Lista de paradas do equipamento;
- Lista de Alarmes – Indicação do código de erro;
- Histórico de Turnos anteriores;
- Relatórios com todos os dados acima, com saídas em formato PDF;

A definição dos itens acima demonstrou que, com estas informações seria possível obter os dados necessários para o acompanhamento e tomada de decisões.

3.1.2. Definição dos Requisitos

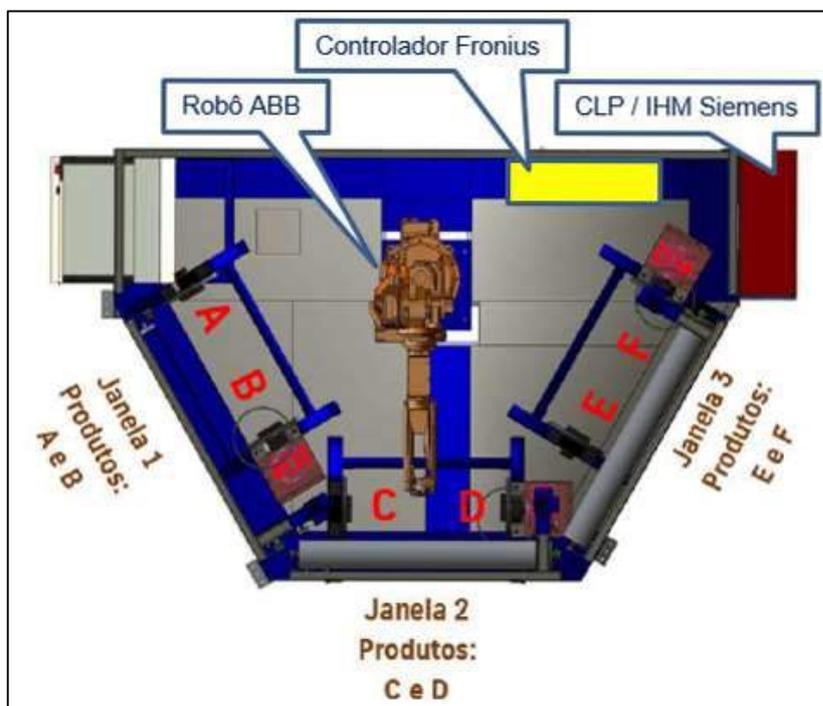
Foram definidos como requisitos para implementação do sistema de gerenciamento de produção alguns itens que necessariamente precisavam ser atendidos, para integração na célula de solda robotizada, levando em consideração as características do equipamento como mostrado a seguir:

- Robô ABB IRB 1600 4/1.5 M2004;
- Controlador de parâmetros de soldagem: Fronius – RCU 5000;
- CLP: Siemens família S7-300 / Código 315-2EH14-0AB0;

- IHM: Siemens família TP 117B-4 / Código 6AV6642-0BD01-3AX0;

Na Figura 10 é possível ver a configuração física da célula de soldagem robotizada:

Figura 10 – Configuração física da célula de soldagem robotizada



Fonte: AUTORES (2021)

O sistema de gerenciamento deveria ser instalado em servidor local, onde deveria receber as informações de todo o processo de manufatura via CLP já instalado na célula. O provedor do sistema de gerenciamento deveria criar e implementar uma rotina separada do funcionamento da máquina, para o envio das informações do processo a um banco de dados instalado no servidor. O sistema deveria ser acessado via navegador local em qualquer estação conectada a intranet da empresa, apresentando os dados individuais e gerais da célula. Além disso, o provedor do sistema deveria seguir as etapas de desenvolvimento e configuração do sistema, instalação e configuração do banco de dados no servidor local.

3.1.3. Definição das Premissas

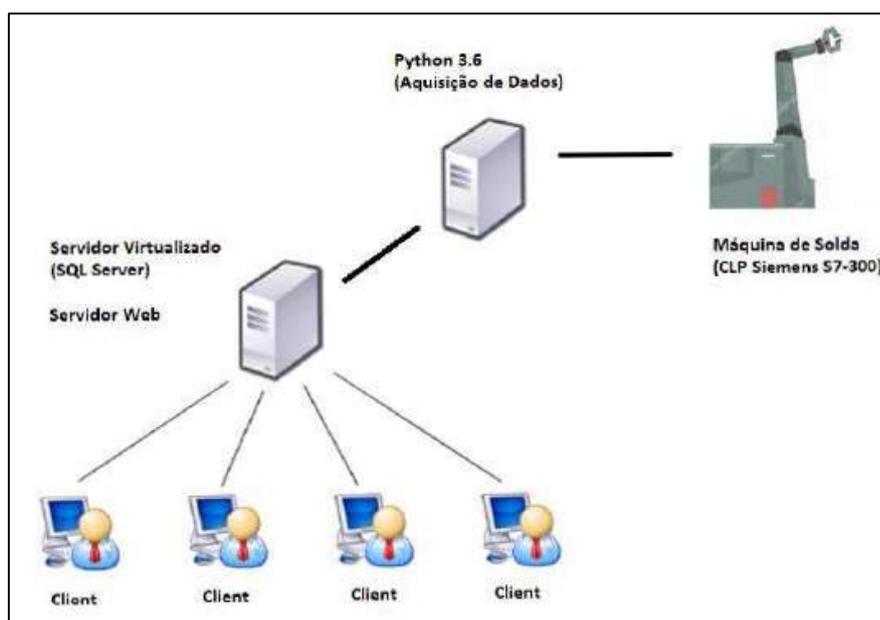
As premissas para implementação do sistema foram definidas conforme descritas abaixo:

- Ter viabilidade financeira, ou seja, deveria haver um *payback* que justificasse o investimento;
- A utilização do sistema deveria ser com uma interface amigável ao usuário;
- Estar em conformidade com as regras de proteção de dados, confidencialidade e *compliance* da empresa;
- Se aplicável, equipamentos de acordo com normas NR's e/ou correlatadas.

3.1.4. Definição das Tecnologias

O sistema de gerenciamento de produção foi dividido em 2 servidores. No primeiro servidor (servidor virtualizado) encontra-se o banco de dados *SQL Server*, onde todos os dados são armazenados. Ainda neste mesmo servidor, é encontrado um *Web Server*. A aplicação desenvolvida em linguagem *web* se mantém armazenada neste servidor, e desta maneira, os computadores *clients* acessam este servidor e os *dashboards* referentes ao sistema. De outro lado, o servidor físico já existente da própria célula de soldagem faz a aquisição dos dados, sendo assim a instalação da linguagem *Python* foi realizada no mesmo, e como este já fazia a comunicação com o CLP da máquina, optou-se por fazer com que este realizasse a coleta dos dados, e armazenasse no outro servidor. A Figura 11 mostra a arquitetura do sistema:

Figura 11 – Arquitetura do sistema



Fonte: AUTORES (2021)

Como citado acima um servidor virtual foi criado dedicadamente para este sistema, com objetivo de armazenamento e demonstração de dados, ou seja, este servidor não tem mais nenhuma função além de compor o sistema de gerenciamento de dados. Assim, foi feita a instalação do *SQL Server Express v18.8*, disponibilizado gratuitamente no site da *Microsoft*. O *SQL Management Studio* também foi instalado para auxiliar no gerenciamento do banco de dados. Além do SQL, foi realizada a instalação do programa MAMP versão 4.2.0. Este programa faz com que este servidor virtualizado se torne um servidor web, ou seja, hospeda-se uma aplicação *web* dentro do mesmo, e tanto ele mesmo quanto qualquer outra máquina da rede pode acessar o sistema e navegar normalmente.

Com a instalação deste programa, o mesmo se encarrega de fazer a instalação do php no servidor na versão correta, além de instalar o apache, que é o servidor *web*. A instalação do apache é feita automaticamente, sem a necessidade de configuração no sistema operacional. Ao inicializar o MAMP, o apache será inicializado, e a aplicação *web* pode ser acessada por qualquer máquina da rede.

Outro item citado, é o servidor físico já existente na célula de soldagem, que está conectado em rede com o CLP da máquina, de forma que é possível monitorar a lógica do CLP através do software do mesmo. Com essa arquitetura, o servidor da célula de soldagem faz a aquisição dos dados, se conectando diretamente ao CLP, e foi possível a realização da instalação do *Python* no servidor da célula de soldagem. O interpretador do *Python* é gratuito e pode ser baixado no site www.python.org.

Versão *Python* instalada: 3.8.5. No *Python*, foram utilizadas 2 bibliotecas que tiveram de ser baixadas e instaladas no *Python*, conforme abaixo:

- Biblioteca *snap7*: Esta biblioteca tem como objetivo realizar a comunicação do servidor *Python* com o CLP da Siemens. A biblioteca foi instalada conforme procedimento de instalação do *Python* (via internet). Conforme orientação do desenvolvedor, foi necessário inserir os arquivos *snap7.dll* e *snap7.lib* no diretório do Windows>system32 (arquivo fornecido pelo desenvolvedor).
- Biblioteca *pymssql*: Esta biblioteca tem como objetivo realizar a comunicação do servidor *Python* com o servidor SQL. O código *Python* desenvolvido é executado de maneira automática, sempre que o servidor da célula de soldagem é iniciado. O código foi desenvolvido para desempenhar a tarefa de requisitar os dados de produção, conectando diretamente ao CLP, e armazenando no banco de dados, em tempo real.

Este código mantém-se executando ciclicamente no servidor da célula de soldagem, monitorando todas as mudanças de estado da máquina e armazenando as informações no banco.

3.2. EXECUÇÃO

Nesta etapa tem-se como principal finalidade o desenvolvimento do estudo para a implementação do sistema de gerenciamento da produção, onde se pode levantar os potenciais fornecedores das tecnologias e comparar a melhor solução, uma vez que o intuito foi desenvolver um sistema que fosse possível atender a máxima de custo-benefício.

3.2.1. Seleção de Fornecedores

Nesta etapa, buscou-se trazer e avaliar fornecedores e parceiros que conseguissem demonstrar uma boa relação do citado custo-benefício, e que além disso pudessem apresentar não só um bom produto, mas também um bom atendimento, tanto durante o desenvolvimento do trabalho, como principalmente no pós-venda, onde se espera que o mesmo esteja disposto a facilitar a resolução de problemas que possam surgir durante e após a implementação do sistema.

Para garantir o mesmo nível de informação, os fornecedores receberam um caderno de encargos, contendo todos os requisitos esperados para o projeto, e foram convidados a realizarem visitas técnicas, podendo assim entender os prós e contras observando *in loco* os detalhes do equipamento antes de realizar uma proposta. Após a etapa de visitas técnicas, esperou-se a realização das propostas e orçamentos. A política da empresa solicita que para que se tenha uma melhor transparência nos processos de compra, que se apresentem no mínimo três orçamentos, neste caso houve um cuidado em trazer o máximo de propostas e ideias, e de todas apresentadas, foram selecionados cinco fornecedores que cumpriram com as exigências mínimas para o recebimento dos seus orçamentos, uma vez que as demais de alguma forma não seriam capazes de cumprir com os requisitos mínimos sugeridos no caderno de encargos.

Na Figura 12 é possível ver o resumo das propostas enviadas pelos fornecedores:

Figura 12 – Resumo das propostas enviadas pelos fornecedores

Fornecedor	Sistema	Valor (R\$)
A	ACX	79.847,69
B	SEQ	130.128,63
C	TEC	34.660,00
D	JAD	44.900,00
E	TAK	64.504,00

Fonte: AUTORES (2021)

Com as propostas detalhadas em mãos foi realizada uma avaliação pela equipe onde se levou em conta todos os itens constituídos de cada sistema, a observância dos requisitos mínimos sugeridos no escopo e também as restrições da empresa relacionadas a *budget* e integração entre os sistemas já existentes e utilizados.

Conforme realizado esta avaliação e apresentado ao corpo gerencial da empresa foi tomado a decisão pela contratação do fornecedor “D” o qual conseguiu demonstrar em sua proposta uma solução que pudesse combinar o custo-benefício esperado no projeto.

3.2.2. Concepção da Lógica

Vale lembrar que a célula de soldagem robotizada, é um equipamento com algumas particularidades que diferem de outros equipamentos, a qual trouxe alguns desafios extras na concepção da lógica. Normalmente os equipamentos e máquinas que tem um gerenciamento de produção, são constituídos por um único produto por vez, e normalmente a contagem de peça a peça unitariamente. No caso da célula de soldagem robotizada, como foram mostrados na Figura 10 trata-se de três janelas de trabalho, porém para este estudo será considerado duas janelas de trabalho funcionando simultaneamente: Janela 1 com o produto H464 e Janela 2 com os produtos F737 e A998, desta forma a lógica de programação do sistema de gerenciamento deve conseguir determinar em tempo real qual o produto em cada janela está em execução, assim como monitorar o tempo de ciclo e as possíveis

paradas de cada um. Na Figura 13 abaixo pode-se ver um exemplo das combinações destas duas janelas que podem trabalhar de forma simultânea.

Figura 13 – Combinações possíveis entre as janelas 1 e 2

Combinações (Produto):	Tempo de ciclo (S)
H464	34
H464 + F737	79
H464 + A998	51
F737	64
A998	34

Fonte: AUTORES (2021)

O sistema foi desenvolvido visando a gestão e monitoramento do funcionamento da célula de soldagem, desta forma, coletores de dados trabalhando em conjunto com um sistema automatizado, junto à tratativa e análise dos dados coletados são os principais itens que compõem esse sistema.

Quanto ao coletor de dados, primeiro passo do processo, o mesmo foi desenvolvido para funcionar a partir da linguagem *Python*. Com o código da linguagem, o sistema seria capaz de acessar o CLP existente no chão de fábrica e coletar os dados de processo referente ao funcionamento do equipamento.

Nesta primeira etapa, não existe nenhuma tratativa de dados, apenas a coleta dos dados e armazenamento em um banco de dados SQL. O código *Python* busca as principais informações de funcionamento da máquina, bem como o seu estado, quantidade de peças produzidas, produto em produção, etc. Todas as informações ficam armazenadas em tabelas específicas e já modeladas dentro do SQL, para que posteriormente possam ser tratados e demonstrados ao usuário final.

A segunda etapa refere-se a um sistema *front-end* desenvolvido em uma linguagem *web* – php/html. Essa aplicação, tem como função rodar em um servidor virtualizado, para acessar os dados armazenados no banco de dados SQL, tratar as informações e publicá-las para que o usuário consiga visualizá-las. Desta forma, a

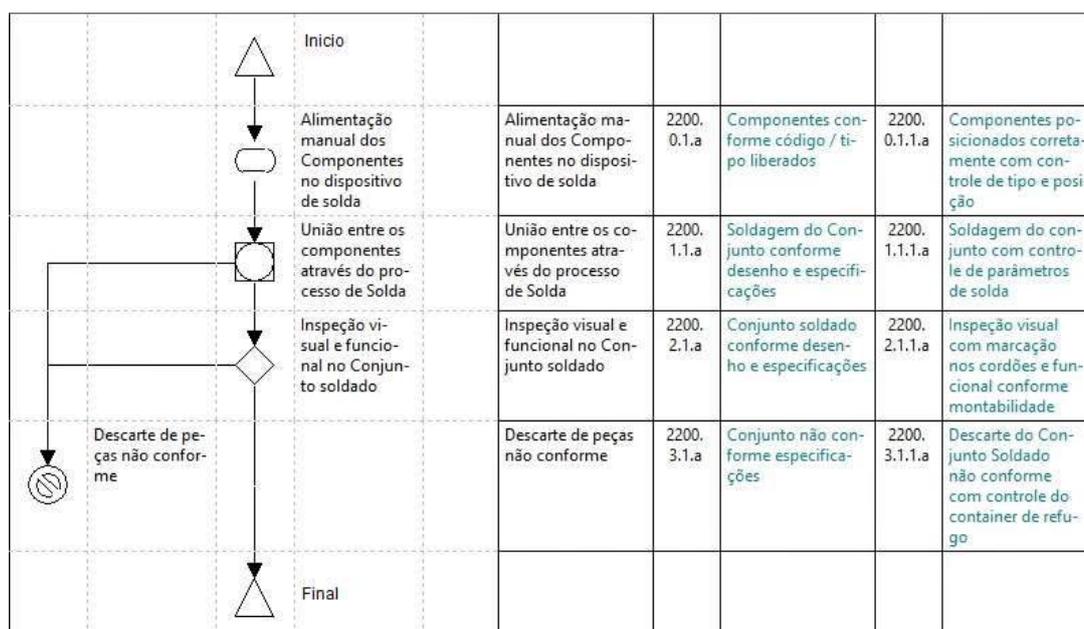
tratativa dos dados é feita na camada *back-end*, e seus devidos cálculos são efetuados para que os resultados sejam demonstrados na camada *front-end*.

3.2.3. Testes do Sistema

Antes da implementação do sistema, foi necessário entender o funcionamento e a rotina da célula de solda robotizada, onde verificou-se que os operadores iniciavam o turno de trabalho preenchendo manualmente os documentos de liberação de turno anotando o tipo de produto e os dados de produção. Ao final o operador, da mesma forma manual anotava os dados da produção em uma planilha Excel, com quantidades produzidas e paradas de máquinas, uma fórmula na planilha Excel calculava o OEE do turno. Este método não havia garantias de assertividade, assim como foi demonstrado no início deste trabalho, onde se comprovou a justificativa e a necessidade da implementação do sistema automático.

Além disso, vale demonstrar o fluxo de cada trabalho dos produtos fabricados na célula de soldagem robotizada. Na Figura 14 abaixo pode-se ver um fluxograma do processo de produção da célula de soldagem robotizada.

Figura 14 – Fluxograma produtivo da Célula de solda Robotizada



Fonte: AUTORES (2021)

Os testes no sistema demonstraram que o sistema selecionado poderia atender a demanda conforme o escopo pré-determinado para este projeto e que seguramente poderia trazer os benefícios esperados e o retorno conforme os objetivos.

3.2.4. Escolha do *Software*

Com base nas avaliações e entendimento de que a proposta realizada conseguiria atender as demandas com base no custo-benefício, chegou-se na escolha do sistema JAD, o qual demonstrou que a solução estaria dentro do esperado para a implementação e com uma visão de que os resultados buscados seriam completamente atendidos. O escopo do sistema JAD previu as seguintes etapas para a implementação:

- Desenvolvimento e configuração do sistema;
- Instalação e configuração do banco de dados no servidor local;
- Testes de aceitação;
- Comissionamento e *startup* em campo;
- Treinamento e operação do sistema;

O projeto foi previsto para com um tempo de dez semanas para implementação. Na Figura 15 abaixo pode-se ver o cronograma macro de execução e implementação do sistema.

Figura 15 – Cronograma macro de execução e implementação do sistema JAD

Atividade	Semana1	Semana2	Semana3	Semana4	Semana5	Semana6	Semana7	Semana8	Semana9	Semana10
Desenvolvimento e configuração do sistema;	█									
Instalação e configuração do banco de dados no servidor local;			█							
Testes de aceitação;					█					
Comissionamento e startup em campo;							█			
Treinamento e operação do sistema;										█

Fonte: AUTORES (2021)

Uma reunião de abertura do projeto foi realizada onde o escopo e o cronograma apresentados foram aprovados para realização do trabalho.

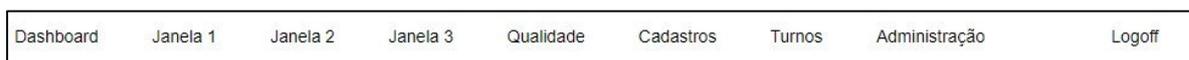
3.3. CONTROLE

Com a finalização das etapas de Planejamento e Execução, e após a aprovação do sistema selecionado, os próximos passos seriam a implementação do *software* e com isso a verificação dos possíveis problemas enfrentados, assim como a visualização das melhorias que poderiam ser propostas. Esperou-se neste sistema obter-se ganhos relacionados à gestão da produção, com objetivo de se monitorar em tempo real o processo produtivo tanto de cada janela de trabalho individualmente, como no resultado global do equipamento, desta forma sendo possível a tomada de decisão de forma rápida e conseguindo evidenciar em tempo real as falhas e oportunidades de melhorias no processo produtivo da célula de soldagem robotizada.

3.3.1. Interface Homem-Máquina

Nesta etapa, foram realizadas a implementação das telas de acompanhamento onde foi disponibilizada a visualização em IHM, onde o operador terá a possibilidade de interagir com o sistema. Na Figura 16 mostra a tela inicial do sistema, onde o operador tem acesso às demais funcionalidades do *software*.

Figura 16 – Tela inicial de interação do operador



Fonte: AUTORES (2021)

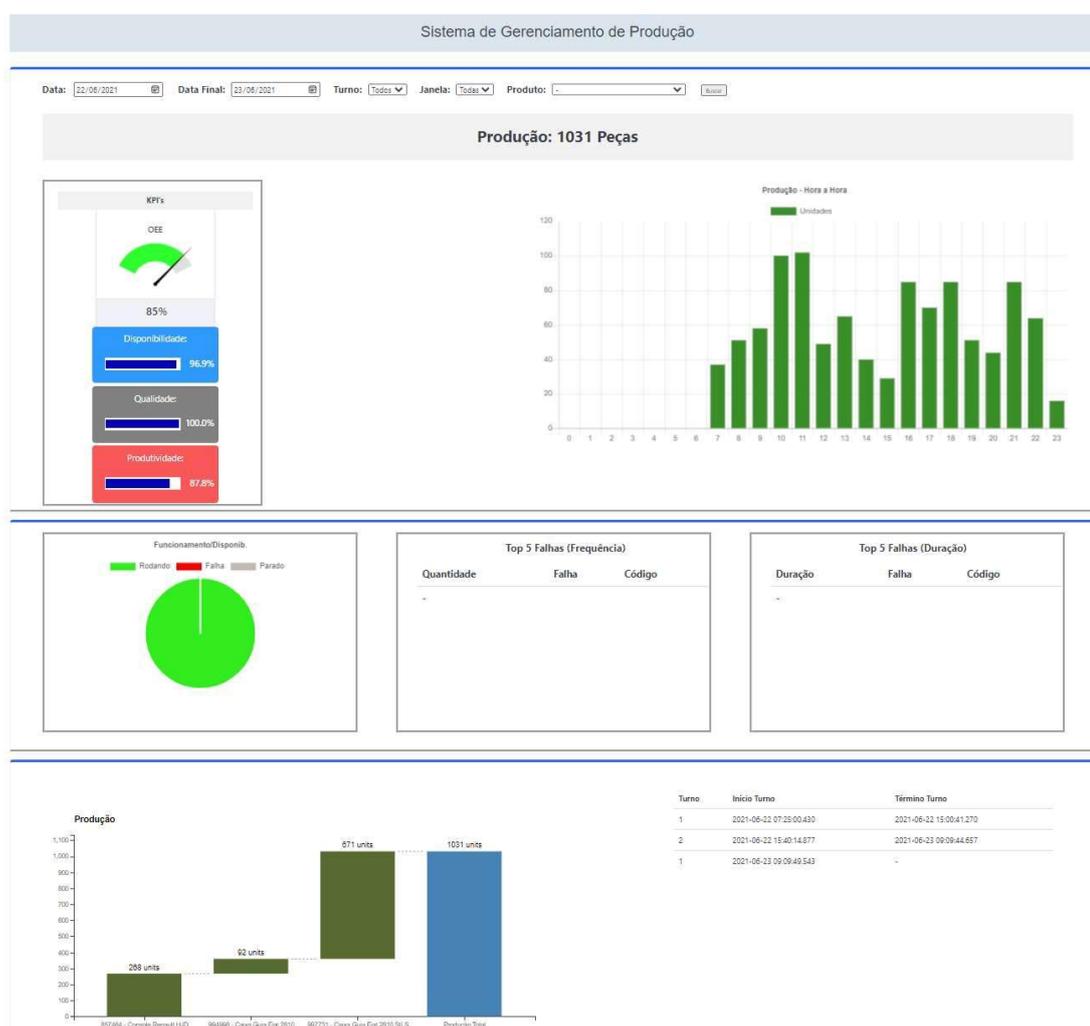
A partir da tela inicial o operador pode interagir com o sistema utilizando as seguintes funcionalidades:

Dashboard – Tela onde se pode visualizar os dados gerais de funcionamento da máquina, como os dados de produção (quantidade de peças produzidas hora a hora em tempo real), KPI's (disponibilidade, qualidade e produtividade), gerando automaticamente o valor de OEE. Além disso, nesta tela o operador visualiza as principais paradas do equipamento, com resumo das falhas (por duração e frequência). Ainda nesta tela, é possível realizar um filtro com os parâmetros e dados de acordo com o desejado. Dentro desses parâmetros, é possível realizar a busca dentro de um período de tempo (Data Inicial e Final), filtrar dados por turno, janela ou

produto. De acordo com o filtro desejado selecionado, clica-se em Buscar e o sistema busca as informações conforme parâmetros.

Além disso, no rodapé inferior encontra-se um botão para exportar os dados para PDF, que é gerado trazendo os dados que estão sendo demonstrados na tela. A Figura 17 mostra a tela *Dashboard*.

Figura 17 – Tela Dashboard



Fonte: AUTORES (2021)

Janelas (1, 2, 3) – Tela onde se pode visualizar os dados por produto individual na respectiva janela que este está produzindo. Nesta tela o operador tem a visão do *status* da janela (funcionando ou parado), e poderá justificar o motivo de uma parada não planejada do equipamento ou uma parada programada, assim com o gráfico de quantidade de peças produzidas e o tempo de ciclo em tempo real. A Figura 18 mostra a tela janelas.

Figura 18 – Tela Janelas



Fonte: AUTORES (2021)

Qualidade – Nesta tela o operador terá a quantidade de peças não conforme durante a produção, a qual irá impactar diretamente no cálculo do OEE do produto em questão.

Turno – Nesta tela o operador irá iniciar o turno de trabalho e finalizar ao término do dia de trabalho. A célula de soldagem robotizada não irá iniciar o seu funcionamento se o turno não estiver aberto e o cálculo do OEE somente será finalizado no momento que o turno de trabalho for fechado.

3.3.2. Coleta de Dados

Após a implementação do sistema, o passo seguinte foi a obtenção dos resultados obtidos através da coleta de dados do *software*. Durante quatro semanas após a implementação foram acompanhados e coletados os resultados para comparação com as informações que haviam sido levantadas na fase de justificativas do projeto. Uma afirmação importante feita pelos provedores de sistemas de gerenciamento de produção, é que com a adoção destes sistemas, as empresas obtêm ganhos na ordem de 20 a 30% em produtividade somente pela utilização e acompanhamento da operação, que reduz desta forma os tempos ociosos nos processos produtivos. Isso se dá pelo fato de que os operadores passam a ser conscientizados e que quaisquer paradas devem informadas e tratadas. Os parâmetros anteriores à implementação do sistema eram de certa forma subjetivos, uma vez que não haviam registros automáticos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram verificados que os resultados buscados com a implementação do sistema de gerenciamento da produção na célula de soldagem robotizada conseguiram atingir, no primeiro momento, o que era esperado. Verificou-se que logo após a implementação do sistema, dado ao controle diário, que a produtividade passou a ser estabelecida de forma a ser controlada onde as metas de produção e tempo de ciclo passaram a ser atendidas de forma mais uniforme.

Dado importante observado foi que durante o período de acompanhamento os três principais produtos H464, F737 e A998 tiveram um aumento significativo no atendimento às demandas. Um dos indicadores acompanhados pela área de planejamento e controle de produção é o BTS (*Build to Schedule*), que mede o atendimento do realizado pelo planejado, este indicador leva em consideração que o atendimento entre 90 a 110% está dentro do *target* e é aceitável como valor confiável. A Figura 19 mostra a comparação entre o planejado e o atendido no período, lembrando que trata-se de um período de teste, e que a expectativa é o atendimento total das demandas.

Figura 19 – Planejado x realizado no período de acompanhamento

Produto	Planejado (pçs)	Real (pçs)	% atendimento
H464	9250	9221	99,7%
A998	5400	5226	96,8%
F737	10150	9563	94,2%

Fonte: AUTORES (2021)

Também se verificou que as paradas de máquina foram mínimas, e em casos mais complexos houve resolução rápida e assertiva.

4.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo do sistema de gerenciamento de produção na célula de soldagem robotizada foi inicialmente realizar o controle dos dados do equipamento e

consequentemente reduzir os desperdícios causados pela falta de informações e dados automáticos, desta forma foi verificado que este objetivo foi atendido, pois o sistema mostrou-se eficaz no seu propósito de garantir que a demanda fosse atingida, além disso, o valor do investimento mostrou-se capaz de se pagar no tempo esperado levando em conta o ganho em produtividade.

5. CONCLUSÕES

Faz parte da sobrevivência das organizações a busca por melhorias em suas atividades, sejam elas nos processos ou produtos, e que possam principalmente gerar redução de custos, os quais podem ser tanto nos processos de fabricação ou mesmo nos processos administrativos e indiretos, além disso, a busca por soluções que diminuam impactos no meio ambiente e melhorem a segurança dos consumidores são vistos como prioridade. A proposta e implementação de um sistema de gerenciamento de produção em uma célula de soldagem robotizada para redução de custos provenientes do desperdício causado pela falta de controle foi o foco central deste trabalho. O intuito foi demonstrar os benefícios e as possibilidades positivas de um processo de manufatura controlado, porém sabe-se que não é possível criar um sistema único, visto que cada empresa ou organização tem suas próprias particularidades e diferentes recursos, além disso, cada processo produtivo e cada produto em si têm suas características próprias.

Por isso o objetivo deste trabalho foi propor a implementação de um sistema de gerenciamento de produção em uma célula de soldagem robotizada, onde foi verificado que não havia nenhum tipo de controle automático e a coleta de dados era feita de forma manual, dependendo muito da mão-de-obra operacional. Foi verificado que dado a esta forma de controle não automática, a empresa deixou de produzir, em período de levantamento de dados, cerca de 15% da demanda planejada, ou seja, levando em conta os valores de peças que se deixou de vender, estimou-se uma perda de quase R\$ 140 mil, além da perda da mão-de-obra que por deixar de produzir também se considera um tempo de ociosidade.

Desta forma este trabalho foi enriquecedor nos pontos de vista didático e prático, pois foi possível buscar através da literatura já publicada inúmeras informações, as quais puderam ser transformadas em testes práticos para melhor compreensão do assunto. Além disso, poderá ser fonte de pesquisa para estudantes e profissionais que queiram conhecer ou aprimorar seus conhecimentos nos assuntos aqui demonstrados.

Mas o maior ganho identificado neste trabalho foi o alcance do objetivo, o qual foi a redução do custo de desperdício de produção que, com os resultados obtidos nas análises e testes realizados verificou-se a viabilidade no processo e no desempenho positivo. Com a implementação proposta verificou-se um aumento na

quantidade de peças produzidas, chegando muito próximo ao atingimento de 100% da demanda planejada pelo real produzido.

Desta forma, é visto que o presente trabalho não cumpre somente o alcance do objetivo de redução do desperdício e custo, mas também mostra que a Engenharia 4.0 tem um papel extremamente importante dentro das empresas, visto que o conhecimento e a utilização de ferramentas e recursos para a busca de soluções e resolução de problemas nos mais variados tipos de situações dentro das organizações está se tornando cada vez mais exigido, e o sucesso futuro destas empresas e organizações está diretamente ligada a esta condição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTIO. **Ter informação de desempenho não significa ter controle**. 2015. Disponível em: <<https://actiosoftware.com/2015/04/informacao-nao-significa-controlar/>>. Acessado em: 20 jul. 2021.

AUTOMOTIVE Business. **Indústria**. 2019. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/noticia/28855/hyundai-investira-mais-r-125-milhoes-em-fabrica-de-piracicaba>>. Acessado em: 01 ago. 2021.

HARDT, Alexandre Keuneucke; et al. **Projetos de implementação de soluções MÉS: Pontos de atenção e fatores de sucesso**. P. 130-139. 17º Seminário de Automação, São Paulo, 2013. Artigo. Disponível em: <<http://abmproceedings.com.br>>. Acessado em: 09 jul. 2021.

IANSITI, Marco; LAHKHANI, Karim R. **A Era da Inteligência Artificial**. Cascavel: Alfacon, 2021.

JURAN, Joseph Moses. **A Qualidade desde o projeto – Os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.

WARREN. **O que é KPI (Key Performance Indicator)**. Porto Alegre: 2021. Disponível em: <<https://warren.com.br/blog/o-que-e-kpi>>. Acessado em: 11 jul. 2021.

VINCE. **O que é OEE (Efetividade Global do Equipamento)**. Americana: 2021. Disponível em: <<https://www.oee.com.br/o-que-e-oee/>>. Acessado em: 20 jul. 2021.

PEREIRA, Silvia Bruin. **Robótica: Recorde de instalações e espaço garantido para robôs e cobots**. Revista Automação, São Paulo, n. 25, p. 04-09, dez. 2020. Disponível em: <<https://revista-automacao.com/market-overview/34213>>. Acessado em: 18 jul. 2021.

RIBEIRO, Janete. **Etapas de um projeto de BIG-Data & Analytics - Coleta, Ingestão & Tratamento de Dados**. São Paulo, 2020. Artigo. Disponível em: <<https://abracd.org/etapas-de-um-projeto-de-big-data-analytics-coleta-ingestao-tratamento-de-dados/>>. Acessado em: 14 ago. 2021.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SUMIG. **Células de Soldagem Robotizada**, 2021. Disponível em: <<https://www.sumig.com>>. Acessado em: 04 jul. 2021.