

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA APONTAMENTO DE PRODUÇÃO

DEVELOPMENT OF A LOW-COST DEVICE FOR PRODUCTION REPORTING

Pedro Antunes Sampaio*  E-mail: peedro.as@hotmail.com

Renan Vitor Miranda Santos*  E-mail: renanvitorsantos2016@gmail.com

*Faculdade de Tecnologia de Itapetininga (FATEC), Itapetininga, SP, Brasil.

Resumo: A eficiência na gestão da produção é essencial para o sucesso das indústrias, levando à busca por soluções inovadoras. Este trabalho apresenta um sistema de apontamento de produção automatizado, que visa otimizar o registro das atividades produtivas e minimizar erros humanos integrando tecnologias de IoT, oferecendo dados em tempo real, facilitando a tomada de decisão, identificação de gargalos e o acompanhamento do processo. O objetivo principal deste estudo está na criação de um contador de peças com baixo custo que visa melhorar a eficiência no setor industrial sendo estruturado em três partes: revisão da literatura, metodologia de desenvolvimento e análise de resultados. Este trabalho utiliza o estudo de caso como metodologia para desenvolver um protótipo de baixo custo para automação do apontamento de produção em indústrias. O processo começa com a definição de requisitos, incluindo a análise do cenário atual, onde são estudados produtos existentes, coletados dados sobre eficiência e realizadas entrevistas com profissionais da indústria para entender os desafios enfrentados. Em seguida, ocorre a escolha de tecnologias, com a seleção de componentes acessíveis, como um microcontrolador NodeMCU, sensor infravermelho, display OLED e circuito de alimentação. O desenvolvimento do protótipo foi realizado de forma incremental, com foco na usabilidade e integração com a plataforma Blynk Cloud para monitoramento em tempo real. Por fim, foram realizados testes em laboratório e teóricos para avaliar a funcionalidade e usabilidade do protótipo, coletando informações para ajustes necessários e garantindo que o sistema atenda às necessidades reais das indústrias, otimizando processos e melhorando a eficiência.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Controle de processos. Automação. Tecnologia. PPCP. Impressão 3D.

Abstract: Efficiency in production management is essential for the success of industries, leading to the search for innovative solutions. This paper presents an automated production reporting system aimed at optimizing the recording of production activities and minimizing human errors by integrating IoT technologies, offering real-time data, facilitating decision-making, identifying bottlenecks, and tracking the process. The main objective of this study is the creation of a low-cost piece counter designed to improve efficiency in the industrial sector, structured in three parts: literature review, development methodology, and result analysis. This work uses a case study as a methodology to develop a low-cost prototype for automating production reporting in industries. The process begins with defining requirements, including analyzing the current scenario, where existing products are studied, efficiency data is collected, and interviews with industry professionals are conducted to understand the challenges faced. Next comes the choice of technologies, with the selection of affordable components such as a NodeMCU microcontroller, infrared sensor, OLED display, and power circuit. The prototype development was carried out incrementally, focusing on usability and integration with the Blynk Cloud platform for real-time monitoring. Finally, lab and theoretical tests were conducted to evaluate the prototype's functionality and usability, collecting information for

necessary adjustments and ensuring that the system meets the real needs of industries, optimizing processes and improving efficiency.

Keywords: 3D Printing. Automation. Industry 4.0. PPC (Production Planning and Control). Process Control. Technology.

1 INTRODUÇÃO

O processo de apontamento de produção desempenha um papel crucial no controle e na otimização da manufatura industrial. No entanto, observa-se que, em muitas pequenas e médias empresas (PMEs), a coleta de dados ainda é realizada por meio de métodos manuais, como registros em papel ou planilhas eletrônicas. Esse cenário tradicional, embora funcional, apresenta limitações significativas, como ineficiência operacional, erros de registro e falta de visibilidade em tempo real, o que impacta negativamente a competitividade e a tomada de decisões gerenciais (Firjan, 2016).

Nos últimos anos, com o avanço da Indústria 4.0 e a difusão de tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e microcontroladores de baixo custo, tem sido possível desenvolver soluções acessíveis para automatização de processos industriais (Schwab, 2016; Sarcomano, 2018). No entanto, a adoção de soluções tecnológicas ainda é um desafio para pequenas e médias empresas, seja por limitações financeiras ou pela resistência à mudança (Paula; Paes, 2021).

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo de baixo custo para automatizar o processo de apontamento de produção, utilizando tecnologias acessíveis, como microcontroladores e sensores. Para validar a relevância dessa solução, foi realizada uma pesquisa de mercado no início de 2024, com profissionais da área de produção, incluindo operadores, supervisores, analistas e gerentes de Itapetininga - SP e região. Durante a pesquisa, foi questionada a frequência com que os participantes presenciaram falhas no apontamento de produção e, em seguida, foi apresentado brevemente o protótipo desenvolvido como uma solução para minimizar essas falhas.

A principal hipótese deste estudo é que a automação do processo de apontamento de produção, ao reduzir o tempo de coleta de dados e minimizar os erros humanos, trará benefícios significativos para as empresas. Esses benefícios

incluem aumento da eficiência operacional, confiabilidade dos dados coletados e satisfação dos usuários, que poderão tomar decisões com base em informações mais precisas e em tempo real.

A justificativa para a realização deste trabalho está na necessidade urgente de pequenas e médias empresas se adequarem às exigências da Indústria 4.0, mesmo com recursos limitados. Ao desenvolver uma solução de baixo custo e avaliar sua viabilidade técnica e econômica, o estudo contribui para a democratização do acesso à tecnologia e para a melhoria da produtividade em ambientes industriais com menor capacidade de investimento.

O estudo concentra-se na apresentação, desenvolvimento e avaliação do protótipo, buscando responder à seguinte pergunta: É possível, com as tecnologias atuais, desenvolver um produto para automação do processo de apontamento de produção que seja de baixo custo e entregue dados confiáveis?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Apontamento de produção

O controle da produção é fundamental para garantir que o planejamento seja seguido, sendo responsável pela coleta de dados cruciais sobre o processo produtivo trazendo informações que geralmente são obtidas por meio de apontamentos manuais, ou seja, registros feitos diretamente na área de produção que são posteriormente repassados para a equipe de planejamento (Favaretto, 2002).

Segundo TUBINO (2000), é possível coletar e armazenar dados sobre tudo que está acontecendo no processo produtivo, porém, se nenhuma ação efetiva em benefício para a empresa resultar desta coleta, ela deve ser revista e eliminada. Um dos conjuntos de dados mais importantes para o controle é saber quais atividades de produção foram realizadas, quais as datas e horários de término e as quantidades produzidas. A coleta destes dados em ambientes de produção em lotes ou com grandes volumes de produção, é feita geralmente ao término ou durante a operação. Exceto nos casos em que está coleta é feita automaticamente, o operador deve anotar ou digitar estes dados.

A gestão industrial eficiente depende do apontamento preciso da produção. Contudo, em empresas com estruturas mais complexas, garantir a assertividade desse processo torna-se cada vez mais desafiador. À medida que as empresas crescem, a necessidade por recursos para acompanhar a produção aumenta significativamente, demandando mais mão de obra, infraestrutura e tempo. O apontamento manual, por sua vez, impõe uma sobrecarga de trabalho aos colaboradores, que dedicam tempo a tarefas repetitivas e burocráticas, como a compilação e transferência de dados, atividades que não contribuem diretamente para a geração de valor (Santos, 2020).

O apontamento manual, apesar de ser uma ferramenta útil, é suscetível a uma série de problemas. A natureza humana, propensa a erros, compromete a precisão dos dados coletados. Além disso, a confiabilidade das informações depende diretamente da capacidade do operador em realizar contagens, medições e cálculos com exatidão. A frequência com que o apontamento é realizado também influencia a qualidade dos dados, pois um intervalo maior entre as observações pode resultar em uma defasagem na obtenção de informações atualizadas. (Neto, 2004).

2.2 PPCP: Planejamento programação e controle da produção

Ao ser feito o controle da produção, colocamos objetivos e é essencial elaborar planos para concretizá-los, organizar seus recursos sendo humanos ou físicos e fazer o monitoramento para que possíveis desvios sejam corrigidos, a ferramenta utilizada para realizar esse processo é o Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP). O PPCP controla o ato de planejar o que realmente será necessário para a produção de algo, levando em consideração os custos, possíveis perdas, faturamento e a satisfação do cliente. Devem garantir o tempo previsto, quantidade correta com os recursos otimizados, visando reduzir os desperdícios e aumentar a eficiência da produção (Favaretto, 2002).

Para Cervo (2002), "o objetivo do PPCP é proporcionar uma utilização adequada dos recursos, de forma que produtos específicos sejam produzidos por métodos específicos, para atender um plano de vendas aprovado". Já na visão de Favaretto (2002), "o objetivo principal do PPCP é comandar o processo produtivo,

transformando informações de vários setores em ordens de produção e ordens de compra - para tanto exercendo funções de planejamento e controle - de forma a satisfazer os consumidores com produtos e serviços e os acionistas com lucros".

2.3 Indústria 4.0

Na Indústria 4.0, sistemas avançados de automação e inteligência artificial estão sendo implementados em fábricas para otimizar o PPCP, denominada como quarta revolução industrial, teve seu início na primeira década do século XXI possibilitando a personalização da produção em massa caracterizada pela internet ubíqua e móvel, sensores menores e mais poderosos e a inteligência artificial, trazendo mudanças profundas na forma de produção e consumo, desencadeando o desenvolvimento de novos modelos de negócios (Mckinsey, 2016; Schwab, 2016). Um ponto crucial e o caminho para o sucesso é a capacitação, segundo Davenport e Prusak (1998) e Teixeira Filho (2000), a verdadeira vantagem competitiva está na capacidade e na velocidade do aprendizado das pessoas nas organizações.

Para Schwab (2019), a quarta revolução industrial não se trata apenas de sistemas e máquinas inteligentes, se trata de novas invenções em diversas áreas, desde genética a nanotecnologia, de energias renováveis à computação quântica, tornando a quarta revolução industrial diferente das outras, envolvendo os campos físicos, digitais e biológicos. Com base nisso, segundo Gibson *et al.* (2021), antes de existir a Manufatura Aditiva, desenvolvedores de produtos consideravam o processo e prototipagem muito complicado e de alto custo o que gerando empecilhos no desenvolvimento de itens, que após a criação dessa tecnologia, houve uma facilitação nos processos e tendo oportunidades de utilização para outros fins além da criação de protótipos, sendo capazes de fabricar peças e produtos com diversos materiais, como por exemplo o plástico e o metal.

3 METODOLOGIA

O estudo de caso é considerado uma metodologia de pesquisa onde todo conteúdo a qual se foi aplicado é apresentado detalhadamente (Gil, 2010). O principal objetivo do estudo de caso é analisar situações reais de um evento

específico, coletar dados, identificar problemas e propor soluções potenciais para os desafios apresentados (Yin, 2010).

Com base na revisão bibliográfica estudada, incorporamos os princípios do Apontamento de Produção, PPCP, Indústria 4.0, bem como as inovações trazidas pela manufatura aditiva e a comunicação em tempo real entre os dispositivos, com a finalidade de trazer uma maior confiabilidade e facilidade na consulta de seus dados visando otimizar os processos de produção, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência, com um baixo custo aos consumidores.

O presente trabalho é um estudo de caso que analisa o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo para automação do apontamento de produção em indústrias de diversos portes e segmentos.

A primeira etapa do processo para o desenvolvimento do produto é a definição dos requisitos, sendo fundamental para garantir que o produto desenvolva funcionalidades que atendam às necessidades reais dos usuários e aos objetivos das empresas interessadas. Nessa etapa, serão realizadas as seguintes atividades:

1. Análise da situação atual da indústria/mercado

- Análise dos produtos existentes no mercado atualmente para atender a demanda de um apontamento de produção confiável;
- Coleta de dados quantitativos e qualitativos sobre o tempo gasto no apontamento, a taxa de erros e a satisfação dos usuários com o sistema atual;
- Análise dos processos envolvidos no apontamento de produção, mapeando os pontos de falha/ineficiência e as oportunidades de melhoria;
- Em contato com gerentes, supervisores e operadores através de uma pesquisa, entender os desafios e necessidades atuais do processo de apontamento de produção.

2. Requisitos funcionais e não funcionais

- Definir as funcionalidades que o sistema deve ter para atender às necessidades dos usuários, com base na análise inicial realizada;

- Definir os atributos que garantem a qualidade do sistema, como facilidade de uso, confiabilidade, segurança, escalabilidade e custo.

Como indicado na definição dos requisitos do produto, compreender o cenário atual da indústria é essencial. Para isso, realizamos uma pesquisa de mercado com profissionais da área, incluindo operadores, supervisores, analistas e gerentes. Questionamos se eles já haviam enfrentado falhas no apontamento de produção e qual foi o grau de impacto dessas falhas no processo, buscando entender o quão crítico o apontamento de produção é para a indústria. Por fim, apresentamos nossa solução, que obteve 98,3% de aprovação, além de diversos feedbacks positivos. A figura 1 ilustra os resultados dessa pesquisa.

Figura 1 – Estatística da pesquisa de mercado



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A próxima etapa do processo se concentra na concepção e no projeto do protótipo. Nessa etapa, serão realizadas as seguintes atividades:

3. Tecnologias e ferramentas a serem utilizadas

- A escolha das tecnologias e ferramentas tem papel importante para garantir a viabilidade técnica e econômica do protótipo. Serão priorizadas tecnologias de fácil acesso e baixo custo compatíveis com os dispositivos utilizados pelos operadores na linha de produção;

- Dentre as opções disponíveis, serão realizadas uma avaliação criteriosa, considerando fatores como curva de aprendizado, suporte da comunidade e integração com outras ferramentas.

Seguindo o planejamento citado, foi pesquisado as tecnologias existentes no mercado que pudessem se enquadrar no projeto, que garantissem qualidade, mas também um baixo custo na sua aquisição.

Dessa forma, foram selecionados basicamente quatro componentes principais, um microcontrolador para processamento dos dados, um sensor para identificação das peças na linha de produção, um display para apresentação de dados básicos localmente e um circuito de alimentação para controlar toda a parte elétrica do produto.

Os próximos passos para desenvolvimento serão: a integração dos componentes selecionados, para que o sistema realize o apontamento como esperado e essa etapa será dividida nas seguintes atividades:

4. Desenvolvimento do protótipo

- Com a arquitetura definida e as ferramentas selecionadas, o protótipo será desenvolvido de forma incremental, seguindo boas práticas de software;
- A interface do usuário será pensada com foco na usabilidade, intuitividade e acessibilidade, facilitando a interação dos operadores com o sistema e otimizando o processo de apontamento de produção;
- Testes serão realizados para verificar a integração entre o dispositivo e a plataforma online;
- Validação dos dados de contagem realizados pelo dispositivo, de forma a comprovar a confiabilidade das tecnologias utilizadas.

Seguindo o planejamento citado, foi pesquisado as tecnologias existentes no mercado que pudessem se enquadrar no projeto, que garantissem qualidade, mas também um baixo custo na sua aquisição.

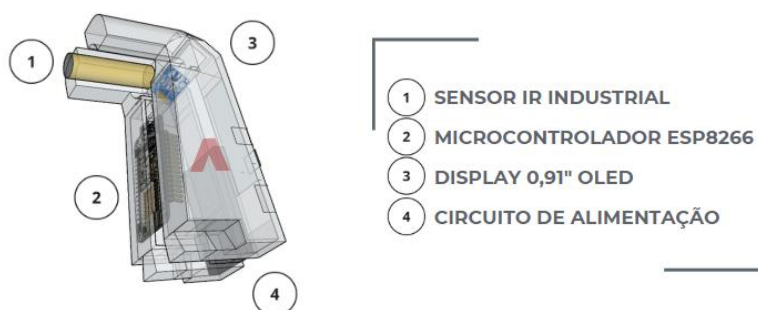
São necessários basicamente 4 componentes principais, um microcontrolador para processamento dos dados, um sensor para identificação das peças na linha de

produção, um display para apresentação de dados básicos localmente e um circuito de alimentação para controlar toda a parte elétrica do produto. Com isso os componentes selecionados foram:

- Microcontrolador: NodeMCU EPS8266
 - Possui custo baixo, é mais rápido e eficiente que o Arduino, possui conexão Wi-Fi integrada e muito utilizado em projeto de IoT.
- Sensor: IR E18-D80NK
 - Sensor infravermelho industrial como variação de distância de detecção objetos.
- Display: OLED 0,91"
 - Display na proporção 128x32 com tecnologia OLED, possui boa definição e consome pouca energia, o que é essencial para o projeto.
- Circuito de alimentação: Fonte 3.3V~5V MB102
 - Circuito responsável por controlar a alimentação dos componentes internos, para sua utilização é necessário conexão externa com uma fonte 5V.

A seguir, temos uma representação simples da ideia de montagem do produto, com os respectivos componentes internos:

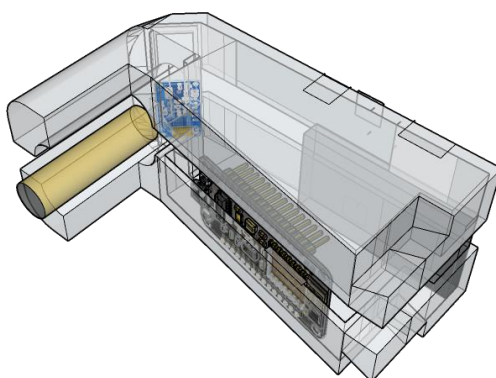
Figura 2 – Componentes do produto



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para o desenvolvimento da estrutura do protótipo foi utilizado o software SketchUp, com foco em um produto modular e adaptável a diversas necessidades de fixação dentro da indústria. Para isso, utilizamos da manufatura aditiva para impressão de modelos teste até chegarmos ao modelo final do protótipo.

Figura 3 – Estrutura do produto

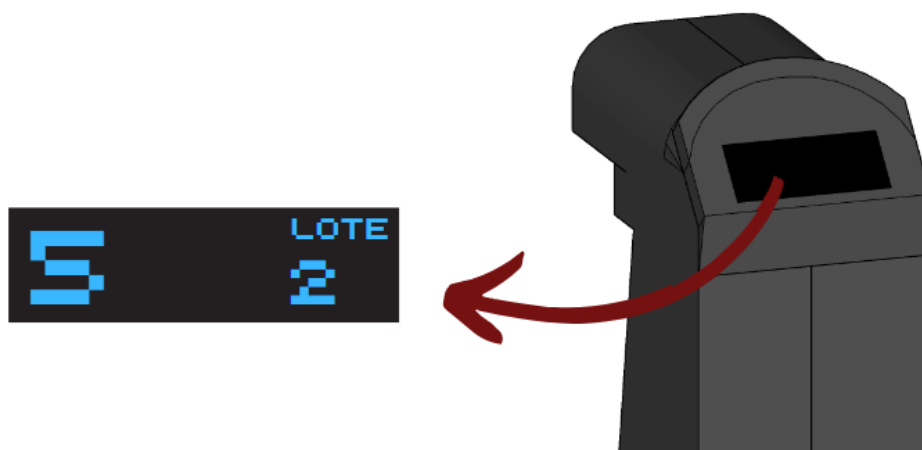


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na programação do produto, foi necessário compreender o funcionamento do sensor IR e como a informação de detecção é recebida quando conectado no ESP8266, e ela é bem simples, quando o sensor detecta o objeto, um sinal “LOW” é recebido na porta digital conectada do microcontrolador, quando nenhum objeto é detectado o sinal se mantém em “HIGH”, e essa distância para detecção do objeto pode ser parametrizada através de um trimpot existente no sensor, o qual limita a faixa de detecção de objetos.

Além da contagem dos objetos individuais para controle, também foi pensado na contagem de lotes fechados, ou seja, com uma simples parametrização, o usuário pode definir uma quantidade específica para o fechamento de um lote, como por exemplo, a cada 100 peças contadas, 1 lote é fechado e contabilizado, e essa informação também será apresentada no display. A seguir tem-se um exemplo dessa exibição, a esquerda será apresentada a quantidade peças já contadas, e a direita a quantidade de lotes já fechado:

Figura 4 – Display de exibição local



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A seguir, temos a lógica de identificação e contagem, como já citado acima. Uma variável de contagem “counter” é utilizada para armazenar a quantidade de peças já reconhecidas e foi utilizado também uma variável auxiliar “acionado” para não cometer o erro de contar uma mesma peça mais de uma vez. Após a passagem da peça, o sinal passa a ser “HIGH” e a variável auxiliar é zerada, o que indica que a peça já saiu do campo de detecção do sensor.

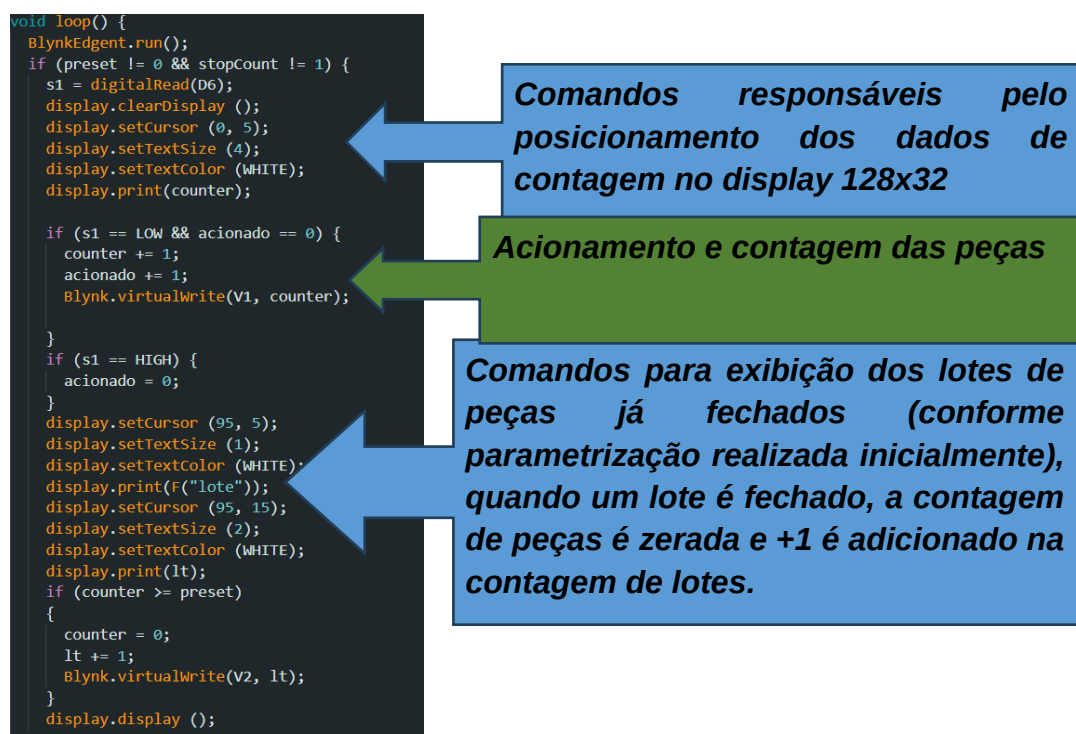
Figura 5 – Programação – Acionamento do sensor

```
if (s1 == LOW && acionado == 0) {  
  counter += 1;  
  acionado += 1;  
  Blynk.virtualWrite(V1, counter);  
}  
  
if (s1 == HIGH) {  
  acionado = 0;  
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Dentro da lógica principal do produto, temos também a apresentação do número de contagem de objetos para o display e sincronização dos dados com a plataforma Blynk Cloud. A seguir temos a lógica comentada:

Figura 6 – Programação – Exibição dos dados para o display



Para integração dos dados e sincronização em tempo real, utilizou-se da plataforma Blynk Cloud, a qual é uma plataforma de Internet das Coisas (IoT) que permite conectar e controlar dispositivos eletrônicos remotamente através de smartphones e dispositivos em geral com conexão a internet. Com uma interface amigável e intuitiva, a plataforma oferece diversas funcionalidades para gerenciar projetos de IoT de forma simples e eficiente.

Com a escolha do ESP8266, devido a facilidade de conexão com a internet, a comunicação diretamente com a plataforma de Blynk Cloud é realizada de forma rápida através da utilização da biblioteca própria da empresa. A seguir iremos apresentar as linhas de código referentes a essa configuração.

Figura 6 – Programação – Comunicação com a Blynk Cloud

```
#include "BlynkEdgent.h"
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 32 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if shared)
#define SCREEN_ADDRESS 0x3C

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

int counter = 0;
int lt = 0;
int preset = 10;
int rstlote = 0;
int rstcounter = 0;
int rst = 0;
int stopCount = 0;
bool s1;
int acionado = 0;

BLYNK_WRITE(V0)
{
  preset = param.asInt();
}
BLYNK_WRITE(V3)
{
  rstlote = param.asInt();
  if (rstlote == 1)
  {
    lt = 0;
    Blynk.virtualWrite(v2, lt);
  }
}
```

Adição das bibliotecas necessárias e parametrização do display

Definição das variáveis do programa

Cada chave de BLYNK_WRITE é considerado uma ação para um “botão virtual”. Portanto parametrizamos 4 botões virtuais, os quais são:

1. Reset da contagem de lotes
2. Reset da contagem de peças
3. Reset total (peças e lotes)
4. Parada do sistema

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 7 – Programação – Sincronização com a Blynk Cloud

```
BLYNK_WRITE(V4)
{
  rstcounter = param.asInt();
  if (rstcounter == 1)
  {
    counter = 0;
    Blynk.virtualWrite(V1, counter);
  }
}

BLYNK_WRITE(V5)
{
  rst = param.asInt();
  if (rst == 1)
  {
    counter = 0;
    lt = 0;
    Blynk.virtualWrite(V1, counter);
    Blynk.virtualWrite(V2, lt);
  }
}

BLYNK_WRITE(V6)
{
  stopCount = param.asInt();
}
```

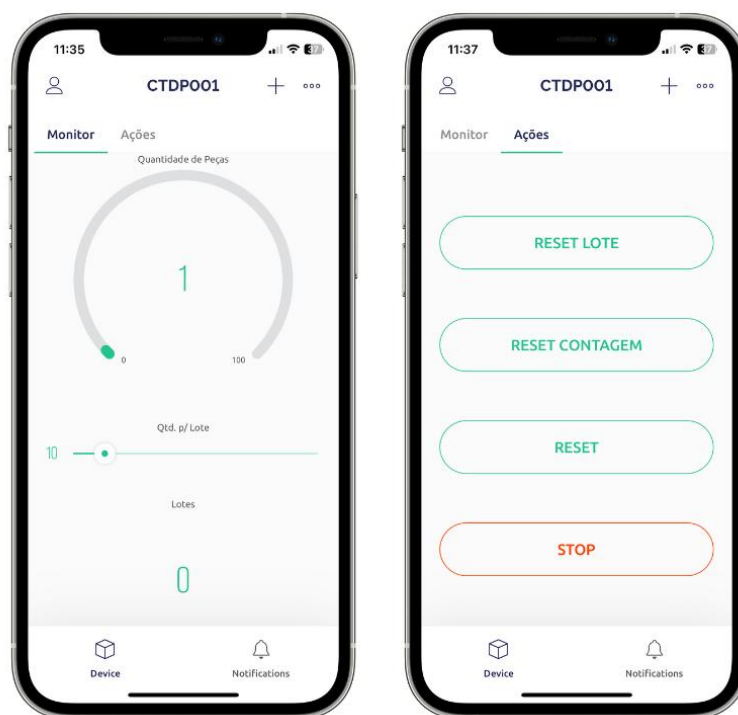
BLYNK_WRITE define as informações que serão sincronizadas constantemente entre o dispositivo e a plataforma, com essa função podemos criar botões de ação para interação com o dispositivo remotamente

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com base na lógica realizada no microcontrolador, conseguimos então parametrizar as telas diretamente na plataforma na Blynk Cloud pelo aplicativo no celular e pelo website, onde podemos personalizar conforme a necessidade de cada cliente.

A seguir temos a tela criada para o projeto, ontem temos inicialmente uma tela de monitoramento, onde são apresentados dados como a quantidade de peças contadas, a quantidade de peças que compõem um lote (podendo ser parametrizado a qualquer momento) e a quantidade de lotes já fechados.

Figura 9 – Blynk Cloud – Comunicação via app

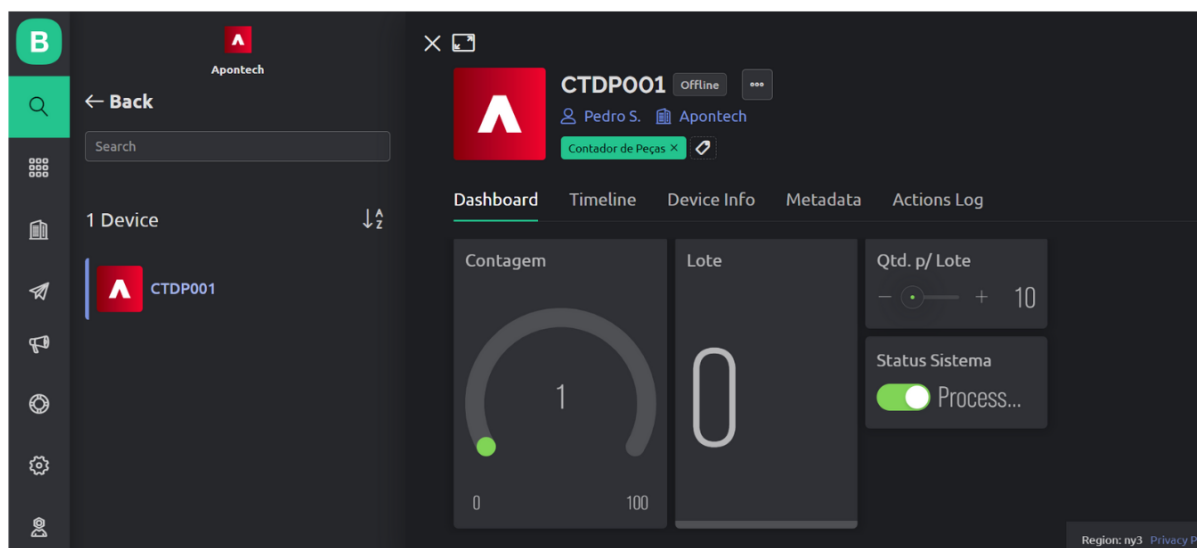


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Como forma de facilitar a atuação rápida em caso de necessidade, disponibilizamos também uma aba de “Ações”, onde são encontrados botões virtuais que possibilitam, por exemplo, resetar o sistema parcialmente ou totalmente e parar o sistema conforme seja necessário.

Além da possibilidade de visualização através de um dispositivo móvel pelo app próprio da plataforma, também se tem o acesso via website, como já citado, e a personalização poderá ser a gosto do cliente. Como exemplo, apresentamos as mesmas informações de contagem, quantidade de peças por lote e um botão de pausa para o sistema.

Figura 10 – Blynk Cloud – Comunicação via website



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

É importante salientar que também é possível a integração com mais dispositivos contadores na mesma plataforma, ou seja, no caso nomeamos o contador como CTDPO01, poderíamos também ter mais contadores na linha de produção realizando contagens independentes que poderiam ser consultados selecionando o respectivo dispositivo (exemplo: CTDPO02, 003, etc.).

Como pode-se observar, a Blynk Cloud facilita a comunicação entre o mundo físico e o digital, permitindo que usuários monitorem e controlem dispositivos eletrônicos em tempo real. Através da plataforma, é possível coletar dados de sensores, enviar comandos para atuadores, visualizar dashboards personalizados e receber notificações sobre eventos importantes, com isso se encaixa perfeitamente com a solução proposta em nosso protótipo, que é ter um monitoramento em tempo real local e virtual.

Em fase final do projeto, o protótipo será avaliado para garantir que atende aos requisitos e expectativas dos usuários. Nessa etapa, serão realizadas as seguintes atividades:

- Simulações serão realizadas em laboratório para uma linha de produção para avaliar a usabilidade, funcionalidade e efetividade do protótipo.

- Os dados coletados durante os testes serão utilizados para identificar problemas e áreas de melhoria no protótipo.

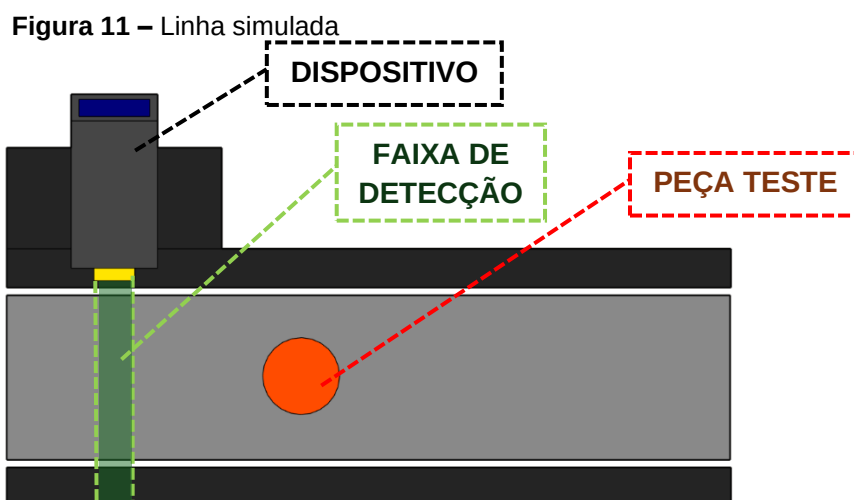
Com os dados coletados durante os testes, serão verificados se os requisitos do protótipo foram atendidos, assim otimizações e ajustes serão realizados no protótipo.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Inicialmente, a ideia era implementar o dispositivo em uma indústria para validar a solução em um cenário real de linha de produção. No entanto, devido à indisponibilidade dos autores em relação às datas, concluímos que a melhor alternativa seria criar cenários de uma linha de produção para realizar simulações e validar a solução. Assim, os testes foram conduzidos em laboratório, simulando três cenários diferentes. Nessas simulações, foram feitas variações, como a quantidade de peças por lote e o intervalo entre os apontamentos, com uma simulação de 3 segundos e outra de 5 segundos. A seguir, são apresentados os três cenários testados:

- **Cenário 1:**
 - ✓ Data: 02/10/2024
 - ✓ Peças/Lote: 10 peças
 - ✓ Intervalo entre aquisição dos dados: 5 segundos
 - ✓ Duração: aprox. 120 minutos
- **Cenário 2:**
 - ✓ Data: 03/10/2024
 - ✓ Peças/Lote: 10 peças
 - ✓ Intervalo entre aquisição dos dados: 3 segundos
 - ✓ Duração: aprox. 180 minutos
- **Cenário 3:**
 - ✓ Data: 05/10/2024
 - ✓ Peças/Lote: 15 peças
 - ✓ Intervalo entre aquisição dos dados: 3 segundos
 - ✓ Duração: aprox. 180 minutos

Como citado anteriormente, desenvolvemos uma linha de produção simplificada, composta por uma esteira de aproximadamente 70 cm, com o dispositivo estrategicamente posicionado no início. Abaixo, apresentamos uma representação visual desse cenário de teste:

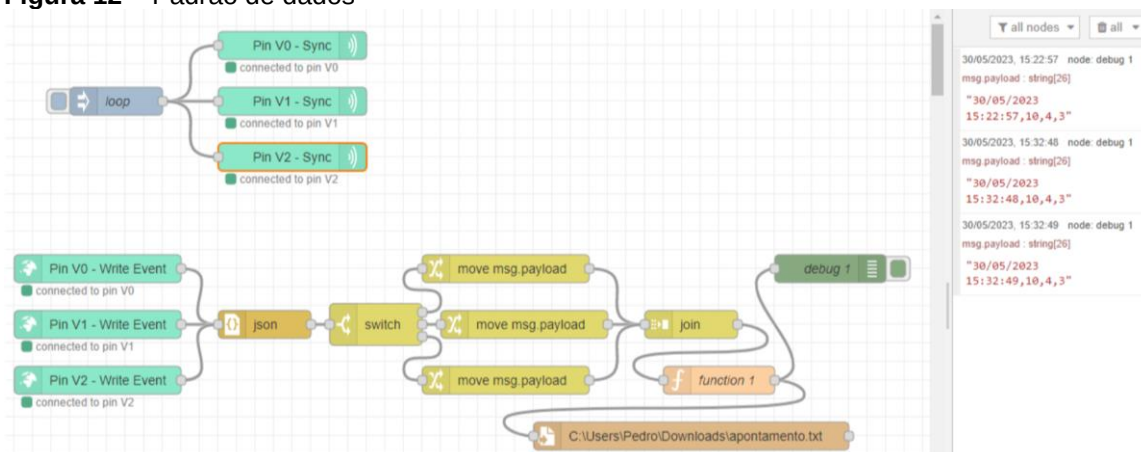


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após a conclusão das simulações, os dados foram obtidos e extraídos em formato .txt com o uso da plataforma Node-RED. O Node-RED, uma plataforma de desenvolvimento visual baseada em fluxo, é ideal para conectar dispositivos e sistemas de maneira simples e eficiente. Através de sua interface gráfica, é possível criar fluxos automatizados conectando blocos que representam funções e dispositivos. Isso facilitou a comunicação direta com o dispositivo, proporcionando maior facilidade na manipulação dos dados após a aquisição dos dados de apontamento.

Na figura 12 a seguir, temos a representação do fluxo desenvolvido na plataforma Node-RED para extrair os dados:

Figura 12 – Padrão de dados



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

De maneira simplificada, o dispositivo permanece constantemente conectado à plataforma Blynk IoT, e o Node-RED também se conecta a ela para ter visibilidade dos dados. A partir daí, os dados são concatenados, garantindo que o recebimento siga um padrão definido, facilitando a análise após a exportação, conforme ilustrado na figura 13:

Figura 13 – Padrão de dados

Padrão de recebimento de dados	
data,	horas:minutos:segundos,pslote,contagem,lote,cacum

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Cada informação é separada por vírgula, e os dados são organizados na seguinte ordem: data de aquisição, seguida por horas, minutos, segundos, a quantidade definida de peças por lote, contagem atual, quantidade de lotes fechados e contagem acumulada.

São armazenadas duas contagens distintas: a variável "**contagem**", que é zerada ao fechar um lote, e a variável "**cacum**", que armazena a contagem acumulada, ou seja, a contagem total de apontamentos.

A figura 14 apresenta, como exemplo, uma representação parcial dos dados obtidos no cenário 1, utilizando os dados reais da simulação realizada:

Figura 14 – Representação parcial dos dados de apontamento

02/10/24,09:02:00,10,1,0,1
02/10/24,09:02:05,10,2,,2
02/10/24,09:02:10,10,3,,3
02/10/24,09:02:15,10,4,,4
02/10/24,09:02:20,10,5,,5
02/10/24,09:02:25,10,6,,6
02/10/24,09:02:30,10,7,,7
02/10/24,09:02:35,10,8,,8
02/10/24,09:02:40,10,9,,9
02/10/24,09:02:45,10,10,1,10

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A utilização de separadores facilita a importação desses dados em um software de análise, como o Excel, onde os dados foram organizados da seguinte maneira:

Figura 15 – Importação dos dados no Excel

Data	PSLote	Contagem	Lote	Contagem Acum.
02/10/24 09:02:00	10	1	0	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Compreendendo o processo de extração e importação dos dados, foram avaliados os resultados obtidos nos três cenários de simulação realizados, que serão apresentados a seguir:

Cenário 1: A primeira simulação teve como objetivo verificar se o dispositivo era capaz de identificar o objeto na esteira com precisão e se o intervalo entre as aquisições, ou seja, o tempo em que a peça passa sobre o sensor, seria adequado para evitar falhas. Nesse cenário, o intervalo foi de 5 segundos.

Como mencionado anteriormente, a simulação foi realizada por aproximadamente 120 minutos, com o pre-set de lote definido para 10 peças, e com um intervalo padrão de 5 segundos entre os apontamentos, e assim foi confirmado que o dispositivo alcançou 100% de precisão. Isso foi validado comparando-se com o cálculo teórico, onde se espera que ocorra um apontamento a cada 5 segundos.

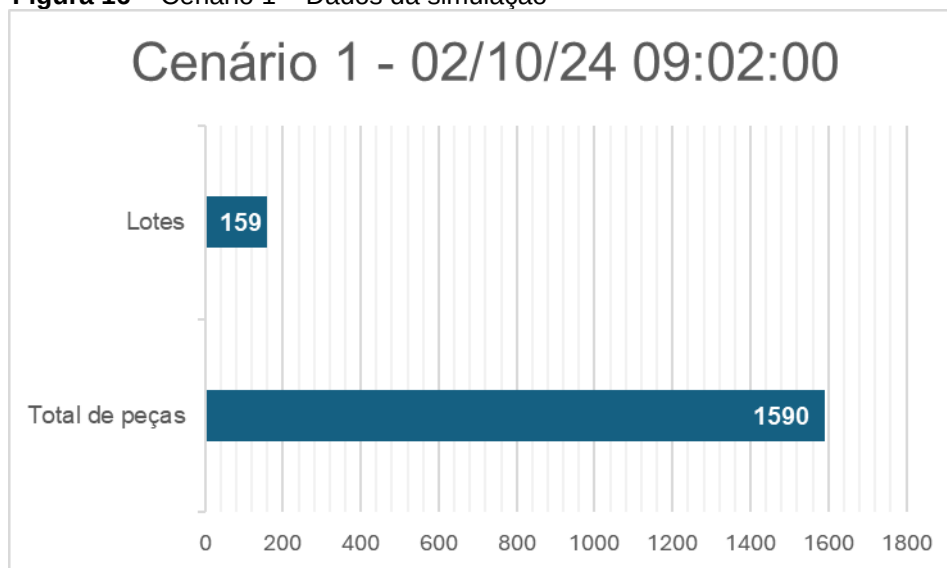
Assim, o cálculo realizado foi o seguinte:

$$\frac{60}{5} = 12 \text{ apontamentos/min} \quad 60 * 12 = 720 \text{ apontamentos/hora}$$

$$\therefore 720 * 2 \text{ horas} = 1440 \text{ apontamentos (teórico)}$$

Na simulação, foram registrados 1.590 apontamentos. A variação em relação ao valor teórico ocorreu porque o tempo de simulação foi ligeiramente superior, totalizando 132 minutos. A figura 14 apresenta uma representação gráfica dos dados extraídos, mostrando a quantidade de lotes concluídos e a contagem total de peças apontadas.

Figura 16 – Cenário 1 – Dados da simulação



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Cenário 2: Na segunda simulação, foi aumentado a velocidade da esteira, sendo assim o intervalo de aquisição passou a ser de 3 segundos. O tempo de simulação foi de aproximadamente 180 minutos, com o pre-set de lote definido para 10 peças.

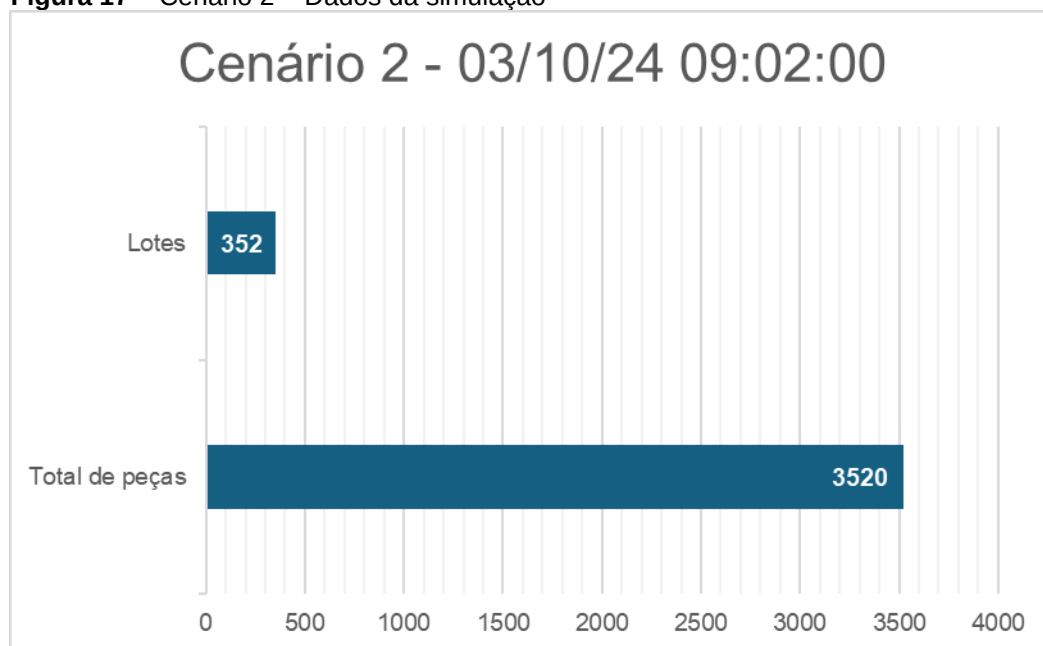
Nesse cenário, também foi realizado cálculo teórico para que tivesse um parâmetro de quantos apontamentos teriam que ser realizados. A seguir, temos esse cálculo:

$$\frac{60}{3} = 20 \text{ apontamentos/min} \quad 60 * 20 = 1200 \text{ apontamentos/hora}$$

$$\therefore 1200 * 3 \text{ horas} = 3600 \text{ apontamentos (teórico)}$$

Na segunda simulação, foram registrados 3520 apontamentos. A variação em relação ao valor teórico ocorreu, como no cenário 1, devido o tempo de simulação que foi ligeiramente inferior, totalizando 174 minutos. Na figura 15, é possível observar uma representação gráfica dos dados extraídos, mostrando a quantidade de lotes concluídos e a contagem total de peças apontadas.

Figura 17 – Cenário 2 – Dados da simulação



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Cenário 3: Na última simulação realizada, foi mantido a velocidade da esteira conforme o cenário 2, com o intervalo de aquisição de 3 segundos. O tempo de simulação foi de aproximadamente 180 minutos novamente, com o pre-set de lote definido para 15 peças.

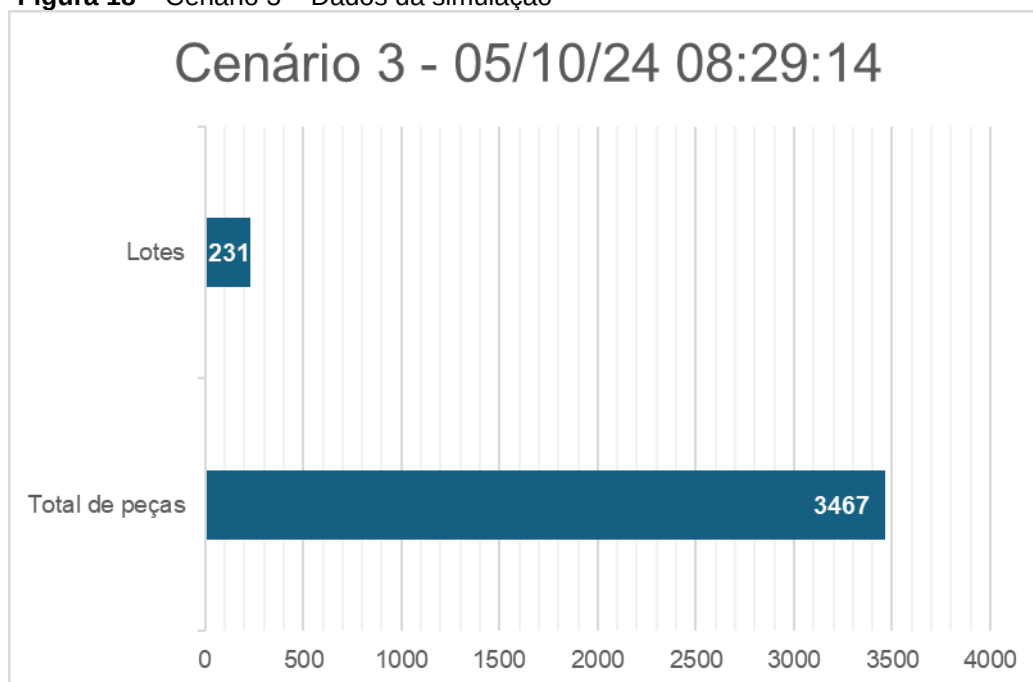
Nesse cenário, novamente um cálculo teórico foi realizado, para que tivesse um parâmetro de quantos apontamentos eram esperados. A seguir, temos esse cálculo:

$$\frac{60}{3} = 20 \text{ apontamentos/min} \quad 60 * 20 = 1200 \text{ apontamentos/hora}$$

$$\therefore 1200 * 3 \text{ horas} = 3600 \text{ apontamentos (teórico)}$$

Na simulação do terceiro cenário, foram registrados 3467 apontamentos. A variação em relação ao valor teórico ocorreu, conforme os cenários anteriores, devido o tempo de simulação que foi ligeiramente inferior, totalizando 173 minutos. Na figura 16, é possível observar uma representação gráfica dos dados extraídos, mostrando a quantidade de lotes concluídos e a contagem total de peças apontadas.

Figura 18 – Cenário 3 – Dados da simulação



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Portanto, com os resultados dos testes realizado, confirmamos que o dispositivo atendeu a todos os cenários testados, comprovando sua efetividade com apontamentos em um intervalo de até 3 segundos com 100% de precisão.

Acreditamos que cenários com intervalos menores ainda serão apontados sem problemas, mas devido à dificuldade de realizar esses cenários em uma linha de produção real, não poderão ser comprovados no presente trabalho.

3 CONSIDERAÇÕES

As considerações finais deste projeto ressaltam o sucesso alcançado nos testes realizados em laboratório, apesar de não ter sido possível implementar o dispositivo em um ambiente industrial real. Os testes em três cenários distintos

demonstraram resultados positivos, validando a eficácia do dispositivo para o apontamento de produção.

O projeto cumpriu seus principais objetivos ao otimizar o processo de apontamento, mostrando que o dispositivo é capaz de operar com precisão e eficiência. Mesmo em um ambiente simulado, o protótipo se mostrou viável para futura implementação na indústria, apresentando bom desempenho em todos os cenários testados.

A utilização de um dashboard para monitoramento em tempo real também trouxe ganhos significativos na visibilidade do processo produtivo, facilitando a análise dos dados obtidos. Além disso, a alta precisão dos apontamentos e a redução do tempo de aquisição confirmam o potencial do dispositivo em contribuir para decisões mais estratégicas, fornecendo dados confiáveis e em tempo hábil.

Portanto, embora os testes tenham sido limitados ao laboratório, os resultados indicam que o dispositivo está pronto para uma futura validação em ambientes industriais, com potencial para otimizar o controle de produção de forma eficaz.

REFERÊNCIAS

- AIRES, R. W. do A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. de S. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. *In*: SUCEG – SEMINÁRIO DE UNIVERSIDADE CORPORATIVA E ESCOLAS DE GOVERNO, 1., 2017. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2017. v. 1, n. 1, p. 224–247. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353055257_Industria_40_desafios_e_tendencias_para_a_gestao_do_conhecimento. Acesso em: 10 maio 2024.
- BRANKE, J. **Industry 4.0** – A vision also for personalised medicine supply chains? [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10041672/1/Farid%20Branke%20Shah%20Industry%204%200%20CellGeneTxInsights%20Accepted.pdf>. Acesso em: 10 maio 2024.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

FAVARETTO, F. **Considerações sobre o apontamento da produção**. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Favaretto-2/publication/239931039_CONSIDERACOES SOBRE O APONTAMENTO DA PR ODUCAO/links/61a792a650e22929cd3bf0b2/CONSIDERACOES-SOBRE-O-APONTAMENTO-DA-PRODUCAO.pdf. Acesso em: 12 maio 2024.

FIRJAN. **Indústria 4.0**: panorama da inovação. [S.l.]: FIRJAN, 2016.

GIBSON, I. *et al.* **Additive manufacturing technologies**. Cham: Springer, 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MCKINSEY & COMPANY. **Industry 4.0 at McKinsey's model factories**: get ready for the disruptive wave. [S.l.]: McKinsey & Company, 2016.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

IAROSZINSKI NETO, A. Controle da produção baseado em códigos de barras. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ABEPRO, 2004.

PAULA, A. P. P.; PAES, K. D. Fordismo, pós-fordismo e ciberfordismo: os (des)caminhos da Indústria 4.0. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, out./dez. 2021.

SARCOMANO, J. B. **Indústria 4.0**: conceitos e fundamentos. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018. 169 p.

SANTOS, F. **Proposta de automatização de apontamentos de produção para plataforma ERP usando ferramentas integradoras de manufatura em uma fábrica de celulose**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S.l.], 2020.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. [S.l.]: Fórum Econômico Mundial, 2016. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4212041/mod_folder/content/0/Schwab%20%282016%29%20A%20quarta%20revolucao%20industrial.pdf. Acesso em: 12 maio 2024.

SILVA, M; PEREIRA, M. JESUS, W. **Ano IX – Número 17 – Dezembro de 2009 – Periódicos Semestral**. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: http://www.faeF.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/E6NH7zOXI0ezvFO_2013-4-30-18-36-42.pdf. Acesso em: 12 maio 2024.

TEIXEIRA FILHO, J. **Gerenciando conhecimento**: como a empresa pode usar a memória organizacional e a inteligência competitiva no desenvolvimento de negócios. Rio de Janeiro: SENAC, 2000.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção:** teoria e prática. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva:** tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2021.

WIENEKE, F. **Gestão da produção:** planejamento da produção e atendimento de pedidos. São Paulo: Blucher, 2009.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Biografia dos Autores

Pedro Antunes Sampaio

Formado em Engenharia Mecatrônica pela FACENS – Faculdade de Engenharia de Sorocaba e atualmente cursa Gestão de Produção Industrial na FATEC – Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. Possui experiência em projetos de automação industrial, Internet das Coisas (IoT), desenvolvimento de produtos e tecnologias de manufatura aditiva, como impressão 3D. Suas áreas de interesse envolvem a integração entre engenharia, automação, inovação e gestão, com foco em soluções acessíveis e eficientes para a indústria.

Renan Vitor Miranda Santos

Estudante de Gestão da Produção Industrial na FATEC – Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. Atua na área industrial há 8 anos, onde construiu uma trajetória consistente passando por diversos setores da indústria, adquirindo experiência nas áreas de controle de processos, planejamento produtivo e manutenção industrial. Suas principais áreas de interesse envolvem gestão, melhoria contínua e eficiência operacional, sempre buscando soluções práticas e eficazes para o setor produtivo.



Artigo recebido em: 29/10/2024 e aceito para publicação em: 17/01/2025

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i2.5446>