

SISTEMA DE APONTAMENTO DE PRODUÇÃO COM PERSISTÊNCIA HÍBRIDA E INTERFACE PARA DISPOSITIVOS INDUSTRIAIS

Gustavo Mondardo Niehues¹, Marcel Campos Inocencio²

RESUMO: O apontamento de produção em ambientes industriais exige registros confiáveis para acompanhamento produtivo, rastreabilidade e integração com sistemas de gestão. Na indústria têxtil de embalagens flexíveis, como *big bags*, esse controle torna-se relevante devido ao grande volume de produção e à necessidade de associar os itens fabricados às respectivas ordens de produção. O objetivo deste trabalho é avaliar a aderência de uma solução embarcada de baixo custo para apontamento de produção em uma linha produtiva da indústria têxtil de *big bags*, considerando a comparação entre os registros gerados pela solução e uma conferência de referência. A pesquisa caracterizou-se como aplicada, de base tecnológica e abordagem mista. Para isso, implementou-se uma solução composta por Raspberry Pi, leitor de QR Code, visor LCD, aplicação cliente em Python, banco de dados local SQLite e API em Node.js para integração com o ERP. A avaliação quantitativa considerou registros produtivos consolidados por unidade e dia, comparando a quantidade de referência com os registros gerados pela solução, enquanto a avaliação qualitativa utilizou questionário com escala de Likert aplicado aos usuários. Após o tratamento dos dados, a solução apresentou percentual de acerto global de 99,90% e acerto ponderado de 99,87%. Na avaliação qualitativa, obteve média geral de 4,70 em 5 pontos e 92,5% de concordância, indicando percepção favorável dos usuários quanto ao uso da solução. Os resultados demonstram que a arquitetura proposta contribuiu para aumentar a confiabilidade dos registros, apresentar baixa divergência em relação à conferência de referência e apoiar a digitalização gradual do apontamento produtivo. Como limitações, destacam-se a dependência de conferência de referência, o número reduzido de participantes na avaliação qualitativa e a influência de eventos operacionais no ambiente fabril.

Palavras-chave: apontamento de produção; rastreabilidade industrial; QR

¹ Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma - Santa Catarina - Brasil. gustavo-niehues@hotmail.com

² Orientador, Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma - Santa Catarina - Brasil. marcel.inocencio@gmail.com

Code; SQLite; ERP; computação em borda.

ABSTRACT: Production tracking in industrial environments requires reliable records to support production monitoring, traceability, and integration with management systems. In the textile industry of flexible packaging, such as *big bags*, this control becomes relevant due to the great production volume and the need to associate manufactured items with their respective production orders. This study aimed to evaluate the adherence of a low-cost embedded solution for production tracking in a textile *big bag* production line, considering the comparison between the records generated by the solution and a reference verification. The research was characterized as applied, technology-based, and supported by a mixed-methods approach. The solution comprised a Raspberry Pi, code reader, LCD display, Python client application, local SQLite database, and a Node.js API for integration with the ERP system. The quantitative evaluation considered production records consolidated by unit and day, comparing the reference quantity with the records generated by the solution, while the qualitative evaluation used a Likert-scale questionnaire applied to the solution users. After data treatment, the solution achieved a global accuracy rate of 99.90% and a weighted accuracy rate of 99.87%. In the qualitative evaluation, it obtained an overall mean score of 4.70 out of 5 points and 92,5% agreement, indicating a favorable user perception regarding the use of the solution. The results show that the proposed architecture contributed to increasing record reliability, reducing divergences, and supporting the gradual digitalization of production tracking. The main limitations include the dependence on a reference verification process, the reduced number of participants in the qualitative evaluation, and the influence of operational events in the manufacturing environment.

Keywords: production tracking; industrial traceability; QR Code; SQLite; ERP; edge computing.

1 INTRODUÇÃO

A digitalização dos processos industriais tem sido impulsionada pelos conceitos da Indústria 4.0, que promovem a integração entre dispositivos físicos, sistemas computacionais e redes de comunicação no ambiente de manufatura (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013; Lee et al., 2015). Esse modelo amplia a visibilidade do processo produtivo e apoia a tomada de decisão baseada em dados coletados no chão de fábrica. A integração entre

dispositivos de coleta de dados e sistemas de gestão empresarial permite registrar eventos produtivos com maior precisão e reduzir falhas associadas ao registro manual de informações, especialmente quando parte do processamento ocorre próximo à fonte dos dados, como proposto em arquiteturas de computação em borda (Shi et al., 2016; Prakash et al., 2022).

No setor têxtil voltado à produção de embalagens industriais em tecido flexível, conhecidas como *big bags*, o processo produtivo envolve etapas como corte, costura, inspeção e prensagem, que exigem controle contínuo ao longo da cadeia produtiva. Nesse contexto, mecanismos de identificação e rastreamento contribuem para ampliar a visibilidade dos ativos e produtos no chão de fábrica, favorecendo a rastreabilidade e o acompanhamento das operações produtivas (Beliatis et al., 2021; Frankó; Vida; Varga, 2020). Essas etapas demandam controle de qualidade e registro das quantidades produzidas para garantir rastreabilidade de lotes e visibilidade do processo produtivo, aspectos essenciais em ambientes industriais orientados por dados (Lee; Lee, 2015).

Apesar dos avanços em digitalização, muitas indústrias ainda realizam o apontamento de produção por meio de registros em papel ou planilhas eletrônicas, sobretudo em contextos com menor nível de automação (Beliatis et al., 2021). Esse modelo de registro manual está sujeito a falhas humanas, como erros de digitação, inconsistências nos dados e atraso na atualização das informações nos sistemas de gestão, dificultando a obtenção de dados produtivos confiáveis e atualizados em tempo real (Zhong et al., 2012).

Pesquisas recentes têm investigado soluções para automatizar a coleta de dados em ambientes industriais. Sistemas baseados em Internet Industrial das Coisas (IIoT) permitem conectar sensores, dispositivos embarcados e sistemas corporativos para monitorar processos produtivos e registrar eventos operacionais (Shi et al., 2016; Prakash et al., 2022). Nesse contexto, tecnologias de identificação automática, como RFID e QR Code, têm sido utilizadas para rastrear produtos e registrar etapas da produção. Embora o RFID permita leitura sem contato visual direto e seja adequado a cenários com maior automação, sua adoção pode exigir etiquetas e leitores específicos; por outro lado, o QR Code apresenta menor custo de implantação, facilidade de impressão e leitura por dispositivos ópticos comuns, sendo uma alternativa viável para aplicações de rastreabilidade em ambientes industriais de médio porte (Ilie-Zudor et al., 2011; Frankó; Vida; Varga, 2020).

Diversos trabalhos aplicados têm investigado a digitalização do apontamento e da rastreabilidade em ambientes industriais. Amara et al. (2023) analisaram o processo de rastreamento da produção em uma empresa têxtil real, evidenciando a importância da integração entre registros de chão de fábrica, identificação por códigos e sistemas de gestão. De forma semelhante, Intalar, Chumnumporn e Jeenanunta (2021) apresentaram um estudo de caso em um fabricante tradicional, no qual QR Codes e códigos de barras foram utilizados para atualizar o movimento e o estado dos produtos em um sistema de rastreamento integrado ao ERP.

No contexto da indústria de costura, Kim e Moon (2020) discutiram a construção de uma fábrica inteligente voltada à melhoria da gestão produtiva, com uso de identificação por códigos e integração com sistemas corporativos. Já Li et al. (2019) propuseram uma abordagem baseada em RFID para rastreamento e monitoramento de dados em tempo real em uma oficina produtiva têxtil, demonstrando o potencial das tecnologias de identificação automática para ampliar a visibilidade do processo produtivo.

Esses estudos se aproximam do presente trabalho por tratarem da digitalização da coleta de dados no chão de fábrica e da integração com sistemas de gestão. Entretanto, o sistema proposto diferencia-se ao aplicar uma solução de baixo custo para apontamento de produção em uma indústria têxtil de embalagens flexíveis, utilizando dispositivo embarcado, leitura de códigos, persistência local em SQLite e sincronização com ERP por meio de API, permitindo operação em modo online e offline.

Diante desse cenário, torna-se relevante investigar soluções tecnológicas de baixo custo que permitam automatizar o registro de produção no ambiente fabril e integrar essas informações ao sistema de gestão da empresa. Uma abordagem baseada em dispositivos embarcados, leitura de QR Code e armazenamento local de dados pode permitir o registro de eventos produtivos diretamente no chão de fábrica, com posterior sincronização com sistemas corporativos.

Diante desse contexto, a pergunta de pesquisa que orienta este estudo é: em que medida uma solução embarcada de baixo custo, com leitura de códigos, persistência local e integração com ERP, apresenta aderência entre os registros de apontamento de produção e a conferência de referência em uma linha produtiva de *big bags*?

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de apontamento de produção baseado em leitura de QR Codes utilizando um dispositivo embarcado Raspberry Pi, banco de dados local SQLite e inte-

gração com um sistema ERP por meio de API. A solução permite registrar dados de produção em modo online ou offline, mantendo os registros localmente e sincronizando-os com o sistema central quando a conexão estiver disponível. O objetivo deste estudo é avaliar a aderência de uma solução embarcada de baixo custo para apontamento de produção em uma linha produtiva da indústria têxtil de *big bags*, considerando a comparação entre os registros gerados pela solução e uma conferência de referência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracterizou-se como aplicada, de base tecnológica e com abordagem mista, contemplando elementos quantitativos e qualitativos. A pesquisa foi aplicada por buscar solucionar um problema prático relacionado ao processo de apontamento de produção em uma indústria têxtil de *big bags*, característica associada a estudos voltados à aplicação de conhecimentos na solução de problemas concretos (Gil, 2008; Prodanov; Freitas, 2013). Também apresentou caráter tecnológico, pois utilizou recursos de hardware embarcado, desenvolvimento de software, banco de dados local e integração com sistema ERP para apoiar a automatização do registro produtivo.

A abordagem quantitativa foi utilizada para comparar os dados registrados pela solução automatizada com a contagem manual realizada em unidades produtivas da empresa. Já a abordagem qualitativa foi empregada para avaliar a percepção dos usuários quanto ao uso da solução no ambiente fabril, considerando aspectos como facilidade de uso, clareza das informações exibidas, desempenho da leitura dos códigos e contribuição para o processo de apontamento. A combinação desses dois tipos de evidência caracteriza uma abordagem mista, adequada quando se busca articular dados mensuráveis e interpretações qualitativas sobre o fenômeno estudado (Creswell, 2014).

A metodologia foi organizada de forma a permitir a compreensão do objeto de estudo, do delineamento da pesquisa, dos materiais empregados, dos procedimentos específicos de implantação e validação, da coleta de dados e das técnicas utilizadas para análise dos resultados.

2.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo desta pesquisa foi o processo de apontamento de produção em uma linha produtiva da indústria têxtil de *big bags*. Esse processo envolve o registro da quantidade de itens produzidos, a as-

sociação dos produtos às respectivas ordens de produção e a necessidade de manter informações confiáveis para acompanhamento, rastreabilidade e integração com o sistema de gestão empresarial. Realizou-se o estudo em unidades produtivas da empresa nas quais foi implantada uma solução automatizada de apontamento. A solução teve como finalidade registrar os *big bags* produzidos por meio da leitura de códigos (QR Code), validação da ordem de produção ativa e armazenamento dos apontamentos realizados.

Para fins de avaliação quantitativa, foram consideradas apenas as unidades em que havia dados suficientes para confrontar os registros da solução com uma conferência de referência realizada pela equipe da empresa. Esse recorte foi adotado para garantir uma base comparativa consistente durante a análise dos resultados.

2.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida a partir da implantação e avaliação de uma solução tecnológica voltada à automatização do apontamento de produção. O delineamento adotado contemplou duas frentes de análise: uma quantitativa, destinada a verificar a aderência dos registros gerados pela solução em relação a uma conferência de referência, e uma qualitativa, voltada à percepção dos usuários quanto ao uso da solução no ambiente fabril.

Na etapa quantitativa, os dados foram organizados por unidade produtiva e por dia de avaliação, permitindo analisar a diferença entre os registros obtidos e a base de referência definida para o estudo. Como os dados analisados corresponderam à totalidade dos registros disponíveis no período e nas unidades incluídas, eles foram tratados como população, e não como amostra.

Na etapa qualitativa, aplicou-se um questionário eletrônico com escala de Likert aos operadores das unidades produtivas avaliadas e, complementarmente, a líderes ou supervisores responsáveis pelo acompanhamento da produção. Essa etapa teve como objetivo complementar a análise quantitativa, considerando a experiência dos usuários com a solução implantada.

O delineamento da pesquisa foi estruturado em etapas: caracterização do processo produtivo e do fluxo de apontamento existente; definição dos materiais e componentes da solução; implantação do dispositivo embarcado, da aplicação cliente, do banco de dados local e da API de integração; realização dos testes operacionais; coleta dos dados quantitativos

e qualitativos; e análise dos resultados por meio de estatística descritiva e avaliação da percepção dos usuários.

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a execução da solução no ambiente produtivo, utilizou-se um Raspberry Pi 3B como dispositivo principal. O equipamento possui processador Broadcom BCM2837 de quatro núcleos com frequência de 1,2 GHz, 1 GB de memória RAM, conectividade Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, portas USB e interface GPIO de 40 pinos com suporte a I2C (Raspberry Pi Foundation, 2024a), características suficientes para executar aplicações embarcadas de coleta e processamento local de dados. No projeto, esse dispositivo foi responsável por executar a aplicação cliente, processar os códigos lidos e registrar localmente os apontamentos de produção. Realizaram-se ainda testes com um Raspberry Pi Zero, dispositivo de menor custo e menor capacidade computacional, equipado com processador Broadcom BCM2835 de núcleo único com frequência de 1 GHz, 512 MB de memória RAM, interface mini-HDMI, portas micro-USB e conector GPIO de 40 pinos e suporte a I2C (Raspberry Pi Foundation, 2024b). Esses testes tiveram como objetivo verificar a viabilidade de funcionamento da solução em um hardware mais simples, considerando cenários em que o custo de implantação seja um fator relevante.

Ao Raspberry Pi foi conectado um leitor de código de barras e QR Codes multidirecional Tanca TL-900, utilizado para capturar os códigos relacionados às ordens de produção e aos *big bags*. Inicialmente, avaliou-se uma abordagem com câmera e processamento de imagem, porém essa alternativa apresentou menor confiabilidade e maior tempo de leitura no ambiente produtivo. Por esse motivo, optou-se pelo leitor dedicado.

Para orientar a operação, utilizou-se um visor LCD 20x04 conectado por interface I2C, responsável por exibir mensagens de confirmação, alertas de duplicidade, inconsistências e identificação da OP ativa.

Utilizou-se ainda outros materiais para a confecção do ponto de coleta, como caixa de contenção dos equipamentos e estrutura metálica para suporte, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Hardware instalado na unidade produtora



Fonte: Elaborado pelo autor.

No ambiente de software, utilizou-se uma aplicação cliente desenvolvida em Python, executada diretamente no Raspberry Pi. A escolha da linguagem Python esteve relacionada à sua compatibilidade com dispositivos embarcados, disponibilidade de bibliotecas e facilidade de integração com periféricos.

Para armazenamento local dos registros, utilizou-se o banco de dados SQLite. Adotou-se essa tecnologia por apresentar baixo consumo de recursos, simplicidade de implantação e adequação a aplicações embarcadas, uma vez que não exige a instalação de um servidor de banco de dados separado.

Utilizou-se ainda uma API desenvolvida em Node.js, responsável por intermediar a comunicação entre a aplicação Python e o ERP da empresa. A API atuou como ponte entre o dispositivo instalado no chão de fábrica e o sistema corporativo, permitindo que os dados coletados fossem tratados e encaminhados ao ERP.

2.4 REQUISITOS DA SOLUÇÃO

A definição da solução considerou necessidades observadas no processo de apontamento de produção, relacionadas ao registro dos itens produzidos, à associação com a ordem de produção ativa, à prevenção de duplicidades, à operação local e à integração com o ERP. A elicitação ocorreu a partir da análise do fluxo produtivo existente, da observação do processo em ambiente fabril e das demandas operacionais identificadas junto aos usuários, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos da solução e relação com a avaliação

Req.	Descrição	Avaliação
RF01	Abrir OP por leitura de código e manter OP ativa.	Validação operacional do fluxo de abertura.
RF02	Registrar apontamentos de <i>big bags</i> por leitura de código.	Registros armazenados pela solução.
RF03	Validar vínculo entre item lido e OP ativa.	Testes com item pertencente e não pertencente à OP.
RF04/RNF01	Verificar duplicidade e preservar integridade dos registros.	Testes de duplicidade e análise dos registros válidos.
RF05/RNF02	Armazenar dados localmente em SQLite e operar sem API disponível.	Verificação da persistência local e sincronização posterior.
RF06/RNF03	Integrar os apontamentos ao ERP por meio de API.	Verificação do envio dos registros à API.
RNF04	Apresentar leitura compatível com a rotina produtiva.	Avaliação qualitativa sobre rapidez da leitura.
RNF05	Exibir mensagens claras ao operador.	Avaliação qualitativa sobre clareza do LCD.

Fonte: Do autor.

2.5 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

A solução foi organizada em três camadas: cliente embarcado, API intermediária e ERP. O cliente, executado no Raspberry Pi, realizou a leitura dos códigos, a validação inicial dos dados e o armazenamento local em SQLite. A API centralizou a comunicação com o ERP, reduzindo o acoplamento entre o dispositivo instalado no chão de fábrica e o sistema corporativo. O SQLite armazenou informações da OP ativa e dos apontamentos realizados, permitindo validar vínculos, identificar duplicidades e manter os registros disponíveis em situações de indisponibilidade da API,

com sincronização posterior.

Os procedimentos da pesquisa foram organizados em etapas. Inicialmente, realizaram-se testes individuais dos componentes de hardware, incluindo o Raspberry Pi, o leitor Tanca TL-900 e o visor LCD 20x04 conectado por interface I2C. Essa etapa teve como finalidade verificar o funcionamento dos equipamentos antes da implantação no ambiente produtivo.

Em seguida, configurou-se a aplicação cliente em Python no Raspberry Pi. A aplicação foi responsável por receber os códigos lidos, classificar o tipo de informação, controlar a ordem de produção ativa, validar os apontamentos e armazenar os registros em banco de dados local SQLite.

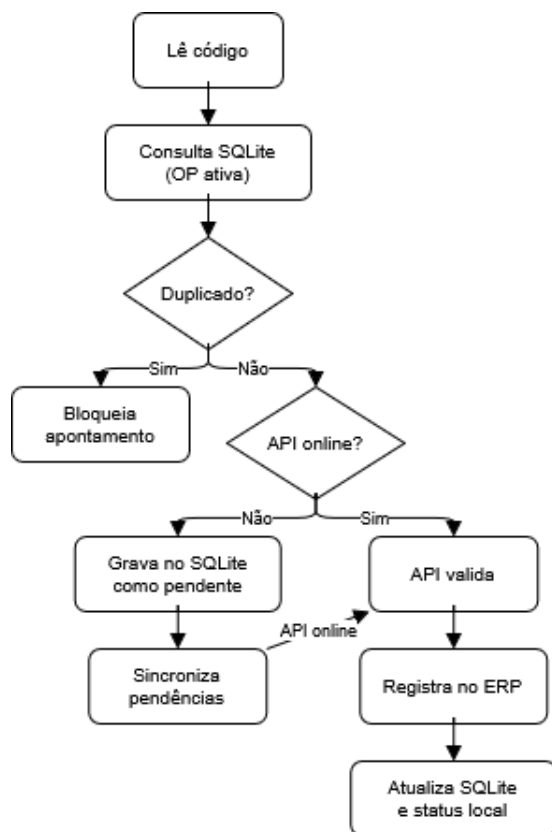
Definiu-se o fluxo de leitura a partir de duas categorias de código: ordem de produção e *big bag*. Quando o código lido correspondia a uma ordem de produção, a aplicação executa o fluxo de abertura ou fechamento da OP. A OP ativa passava então a ser utilizada como referência para as leituras seguintes.

Quando o código lido corresponde a um *big bag*, a aplicação verifica a existência de uma OP ativa, confere o vínculo do item com a ordem em execução e consulta a base local para identificar possíveis duplicidades. Apenas os registros considerados válidos eram gravados no SQLite, contendo código lido, ordem de produção associada, data e hora do apontamento. O fluxo da aplicação é demonstrado na Figura 2.

Em síntese, o fluxo operacional envolveu a leitura do código, sua classificação como OP ou *big bag*, validação da OP ativa, conferência do vínculo entre item e ordem, verificação de duplicidade no SQLite, registro local do apontamento válido, exibição de mensagem ao operador e envio posterior à API para integração com o ERP.

A API Node.js recebe os dados coletados pelo cliente Python e realiza a comunicação com o ERP da empresa. Dessa forma, a integração com o sistema corporativo permaneceu centralizada na API, enquanto o Raspberry Pi fica responsável pela coleta, validação inicial e persistência local dos dados no ambiente fabril.

Figura 2 - Fluxo compacto de comunicação entre cliente embarcado e API



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.6 PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO OPERACIONAL

A validação operacional ocorreu em ambiente produtivo, considerando o fluxo real de apontamento das unidades avaliadas e os requisitos funcionais e não funcionais definidos para a solução. Essa etapa verificou a execução das operações previstas e a compatibilidade da solução com a rotina de trabalho dos operadores.

A validação contemplou cenários de abertura de ordem de produção, leitura de *big bags*, tentativa de leitura duplicada, leitura de item não pertencente à OP ativa e fechamento da ordem. Esses cenários representaram situações comuns ou críticas do processo de apontamento.

Avaliou-se ainda a interação do operador com o equipamento, especialmente a clareza das mensagens exibidas no visor LCD para orientar a operação, confirmar registros válidos e alertar sobre inconsistências.

Por fim, examinou-se a persistência local em SQLite. Cada leitura válida deveria gerar um registro com código lido, ordem de produção associada, data e hora da operação, garantindo disponibilidade dos dados para consulta posterior.

2.7 VARIÁVEIS ANALISADAS

A avaliação quantitativa considerou variáveis relacionadas ao volume de *big bags* produzidos e registrados durante o período de análise. A variável de referência correspondeu à quantidade conferida pela equipe da empresa, enquanto a variável do sistema correspondeu aos apontamentos válidos registrados pela solução automatizada no banco SQLite.

A partir dessas duas variáveis, calcularam-se a diferença entre os métodos e o percentual de aderência dos registros da solução à conferência de referência. A diferença permitiu identificar eventuais divergências entre a base de referência e os registros do sistema, enquanto o percentual de acerto expressou o grau de aderência da solução ao processo produtivo avaliado.

Na avaliação qualitativa, consideraram-se variáveis relacionadas à percepção dos usuários, incluindo facilidade de uso, clareza das mensagens exibidas, desempenho da leitura dos códigos, prevenção de erros e percepção geral de melhoria no processo de apontamento.

2.8 COLETA DE DADOS

A coleta de dados quantitativos utilizou como referência a conferência realizada pela equipe de Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) nas unidades produtivas avaliadas. Os dados foram consolidados por dia e por unidade produtiva. Desta forma, cada registro analisado correspondeu à produção diária de uma determinada unidade, contendo a quantidade de referência e a quantidade registrada pelo sistema. Esses valores serviram de base para o cálculo da diferença entre os métodos e do acerto dos registros em relação à conferência de referência.

A coleta de dados qualitativos ocorreu por meio de um questionário eletrônico elaborado no Google Forms, aplicado aos operadores que utilizaram a solução nas unidades produtivas avaliadas e, complementarmente, a líderes ou supervisores envolvidos no acompanhamento do processo.

O instrumento qualitativo foi composto por cinco afirmações em escala de Likert, com valores de 1 a 5, variando de “Discordo totalmente” a “Concordo totalmente”. As afirmações avaliaram facilidade de uso, clareza das informações exibidas no visor LCD, rapidez da leitura dos códigos, prevenção de erros, duplicidades e apontamentos incorretos, além da percepção geral de melhoria no processo. O questionário contemplou ainda uma questão aberta opcional para sugestões e observações dos usuários.

O questionário contemplou ainda uma questão aberta opcional, destinada ao registro de sugestões, dificuldades percebidas ou observações adicionais sobre o uso da solução.

2.9 TRATAMENTO DOS DADOS

Após a coleta, os dados quantitativos foram organizados por unidade produtiva e por dia de avaliação. Cada registro diário reuniu a quantidade de referência e a quantidade registrada pelo sistema, permitindo calcular a diferença entre os métodos.

Antes da análise final, examinaram-se registros com divergências elevadas, classificados como *outliers*. Consideraram-se atípicos os registros com diferenças associadas a eventos pontuais externos ao funcionamento regular da solução, como erro operacional, falha no equipamento de leitura ou ausência de conferência completa.

No conjunto analisado, três registros foram classificados como atípicos: dois relacionados à identificação de etiquetas impressas em duplicidade e um associado à falha no equipamento de leitura. A remoção desses registros buscou reduzir a influência de eventos pontuais na análise descritiva.

2.10 ANÁLISE DOS DADOS

A análise quantitativa utilizou estatística descritiva, com o objetivo de sintetizar as diferenças entre a quantidade de referência e a quantidade registrada pelo sistema. Para cada registro diário consolidado por unidade produtiva, calculou-se a diferença entre esses dois valores. A partir das diferenças obtidas, calcularam-se a média e o desvio padrão, utilizados para representar, respectivamente, a tendência central e a dispersão das divergências observadas (Prodanov; Freitas, 2013; Creswell, 2014).

Após o tratamento dos dados, os indicadores finais foram calculados sobre a base tratada. O percentual de acerto global expressou a aderência geral entre os registros do sistema e a base de referência, considerando a diferença líquida entre os totais. Esse indicador foi definido a partir da lógica de erro percentual absoluto, na qual a diferença absoluta entre valor observado e valor de referência é dividida pelo valor de referência e expressa proporcionalmente (Shcherbakov et al., 2013), conforme a Equação 1.

$$Acerto_{global}(\%) = \left(1 - \frac{|\sum QR - \sum QS|}{\sum QR}\right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

- $\sum QR$ representa a soma das quantidades de referência;
- $\sum QS$ representa a soma das quantidades registradas pelo sistema;
- $|\sum QR - \sum QS|$ representa a diferença líquida absoluta entre os totais.

Calculou-se ainda o percentual de acerto ponderado pela diferença absoluta, utilizado para considerar as divergências individuais de cada registro diário consolidado. Esse indicador evita que diferenças positivas e negativas se compensem no total, permitindo avaliar a aderência da solução a partir da soma dos erros absolutos, conforme a Equação 2. A utilização de medidas baseadas em erro absoluto percentual é recorrente para avaliar proximidade entre valores observados e valores de referência (Kim; Kim, 2016; Shcherbakov et al., 2013).

$$Acerto_{pond.}(\%) = \left(1 - \frac{\sum |QR_i - QS_i|}{\sum QR_i}\right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

- QR_i representa a quantidade de referência do registro i ;
- QS_i representa a quantidade registrada pelo sistema no registro i ;
- $\sum |QR_i - QS_i|$ representa a soma das diferenças absolutas entre os registros;
- $\sum QR_i$ representa a soma das quantidades de referência.

A análise qualitativa considerou as respostas obtidas no questionário com escala de Likert. Para cada afirmação, calcularam-se a média das respostas e o percentual de concordância. Embora escalas Likert sejam originalmente ordinais, o uso de estatísticas descritivas, como frequências, percentuais e médias, é recorrente em estudos aplicados, desde que os critérios de interpretação sejam explicitados (Sullivan; Artino, 2013; Harpe, 2015).

O percentual de concordância foi calculado pela proporção de respostas favoráveis em relação ao total de respostas obtidas, considerando favoráveis as respostas “Concordo parcialmente” e “Concordo totalmente”, correspondentes aos valores 4 e 5 da escala.

As respostas da questão aberta receberam tratamento descritivo, com identificação de dificuldades percebidas, sugestões de melhoria e observações relacionadas ao uso da solução no ambiente produtivo.

2.11 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

A principal limitação da avaliação quantitativa esteve relacionada à disponibilidade de pessoal para realização da conferência de referência nas unidades produtivas. Como a comparação dependia da existência dessa conferência em tempo hábil, nem todas as unidades puderam ser incluídas na análise quantitativa.

Outra limitação esteve relacionada às condições operacionais do ambiente produtivo, pois eventos pontuais, como interrupções no processo, falhas de leitura, uso incorreto do equipamento ou ausência de conferência completa, poderiam gerar diferenças atípicas entre a base de referência e os registros do sistema.

A análise qualitativa apresentou limitação quanto ao número de respondentes, pois foi direcionada aos usuários que tiveram contato com a solução no ambiente de produção. Apesar disso, as respostas obtidas permitiram complementar a avaliação quantitativa, fornecendo informações sobre a percepção dos usuários em relação à aplicação prática da solução.

Dessa forma, a análise combinou dados objetivos de produção com a percepção dos usuários envolvidos no processo, permitindo avaliar a contribuição da solução para a automatização do apontamento de produção de *big bags*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise bruta, consideraram-se 45 registros consolidados, correspondentes às somas diárias de produção por unidade produtiva nas filiais 6 e 7. A quantidade de referência totalizou 39.580 unidades, enquanto a solução registrou 38.470 unidades, resultando em diferença líquida de 1.110 unidades e percentual de acerto global de 97,20%.

Após o tratamento dos dados descrito na metodologia, permaneceram 42 registros consolidados para análise. Nesse conjunto, a quantidade de referência foi de 37.016 unidades, enquanto a solução registrou

36.980 unidades, resultando em diferença líquida de 36 unidades. A média da diferença foi de 0,86 unidade por registro diário consolidado, com desvio padrão de 2,70 unidades. O percentual de acerto global foi de 99,90%, enquanto o acerto ponderado pela diferença absoluta foi de 99,87%, demonstrados na Tabela 2.

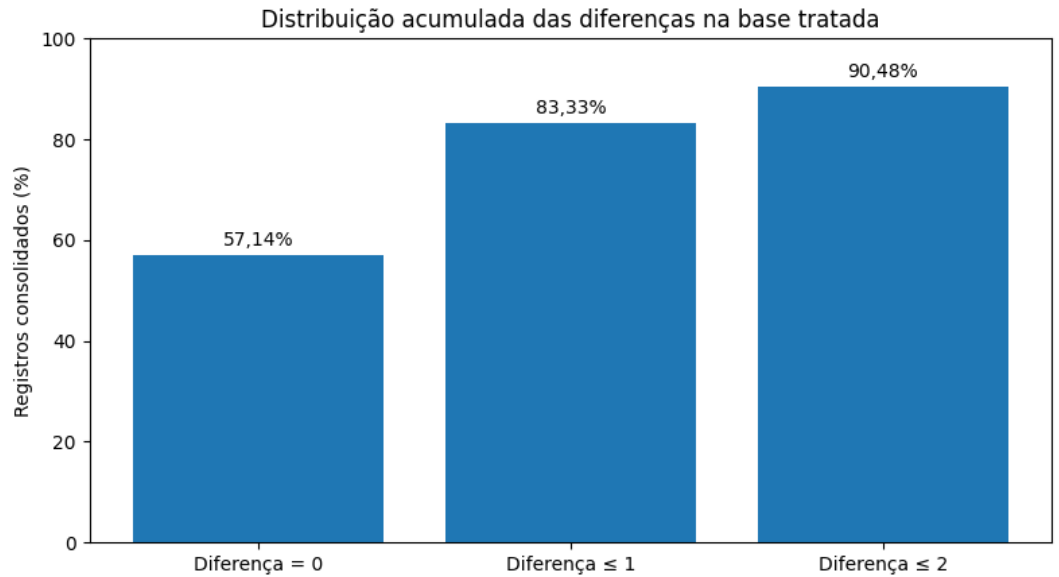
Tabela 2 - Resumo dos resultados quantitativos

Indicador	Base bruta	Base tratada
Registros analisados	45	42
Quantidade de referência	39.580	37.016
Quantidade registrada pela solução	38.470	36.980
Diferença líquida	1.110	36
Percentual de acerto global	97,20%	99,90%
Percentual de acerto ponderado	—	99,87%

Fonte: Do autor.

A distribuição acumulada das diferenças, apresentada na Figura 3, indica que 57,14% dos registros não apresentaram divergência, enquanto 83,33% tiveram diferença de até uma unidade e 90,48% diferença de até duas unidades.

Figura 3 - Fluxo compacto de comunicação entre cliente embarcado e API



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados quantitativos indicam elevada aderência dos registros gerados pela solução em relação à conferência de referência. A

diferença líquida de 36 unidades em um total de 37.016 unidades avaliadas representa baixa divergência entre os registros do sistema e a base de referência. Esse comportamento sugere que a combinação entre leitura de códigos, validação local, persistência em SQLite e integração com ERP foi adequada ao contexto produtivo analisado. A diferença entre a base bruta e a base tratada indica que eventos operacionais pontuais tiveram impacto relevante nos indicadores iniciais, reforçando a importância do tratamento prévio dos dados antes da interpretação do desempenho regular da solução.

A avaliação qualitativa foi direcionada aos operadores que utilizaram a solução no ambiente produtivo. Entre os vinte operadores envolvidos, oito responderam ao formulário eletrônico, correspondendo a 40% do total. A análise das respostas indicou percepção geral positiva, com média geral de 4,70 em 5 pontos e mediana igual a 5. Considerando as respostas “Concordo parcialmente” e “Concordo totalmente” como indicativo de concordância, obteve-se percentual geral de concordância de 92,5%, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da avaliação qualitativa

Questão avaliada	Média	Concordância
Facilidade de uso durante a rotina de produção	5,00	100%
Clareza das informações exibidas no visor LCD	4,25	75,0%
Rapidez e adequação da leitura dos códigos	4,63	87,5%
Contribuição para evitar erros, duplicidades e apontamentos incorretos	4,63	100%
Melhoria geral do processo de apontamento	5,00	100%

Fonte: Do autor.

Os resultados qualitativos também permitiram avaliar requisitos não funcionais associados à interação com o operador. A média de 4,25 na clareza das informações exibidas no visor LCD relaciona-se ao RNF05, enquanto a média de 4,63 na rapidez e adequação da leitura dos códigos relaciona-se ao RNF04. A concordância de 100% na questão sobre prevenção de erros, duplicidades e apontamentos incorretos reforça a percepção dos usuários quanto ao RNF03, relacionado à integridade dos registros.

Os maiores resultados ocorreram nas questões relacionadas à facilidade de uso e à melhoria geral do processo de apontamento, ambas com média 5,00 e 100% de concordância. Esse resultado indica que os usuários perceberam a solução como simples de utilizar durante a rotina

produtiva e capaz de contribuir para o controle do apontamento. As questões relacionadas à clareza das informações exibidas no visor LCD e ao desempenho da leitura dos códigos apresentaram médias de 4,25 e 4,63, respectivamente. Embora os valores indiquem avaliação positiva, as respostas abertas apontaram oportunidades de melhoria na comunicação das informações ao operador, especialmente quanto ao tempo de exibição das mensagens, à identificação de etiquetas duplicadas, à inclusão de sinalização visual complementar e à possibilidade de exibir a quantidade produzida em tela visível à equipe.

A comparação com trabalhos correlatos reforça a contribuição prática da solução desenvolvida. Amara et al. (2023) analisaram o rastreamento da produção em uma empresa têxtil real e destacaram a importância da integração entre registros de chão de fábrica, identificação por códigos e sistemas de gestão. De forma semelhante, o presente trabalho aplicou uma solução em ambiente produtivo real, voltada ao registro de *big bags* fabricados e à integração dos apontamentos com o ERP.

Os achados também se aproximam do estudo de Intalar, Chumnorn e Jeenanunta (2021), que apresentou um sistema de rastreamento em um fabricante tradicional com uso de QR Codes e códigos de barras para atualizar o movimento e o estado dos produtos em um sistema integrado ao ERP. Neste trabalho, a aplicação de códigos no processo produtivo também contribuiu para a digitalização gradual do apontamento, com a diferença de que a solução proposta incorporou persistência local em SQLite para manter informações da OP ativa e dos apontamentos realizados.

No contexto da indústria de costura, Kim e Moon (2020) discutiram o uso de identificação por códigos e integração com sistemas corporativos para melhoria da gestão produtiva. Essa perspectiva se aproxima dos resultados obtidos, pois a solução desenvolvida reduziu a dependência de registros manuais e aumentou a disponibilidade de informações para acompanhamento do processo. Já Li et al. (2019) propuseram uma abordagem baseada em RFID para rastreamento e monitoramento de dados em tempo real em uma oficina produtiva têxtil. Embora o RFID ofereça maior automação em determinados cenários, a solução baseada em códigos mostrou-se adequada ao contexto avaliado, especialmente por seu menor custo de implantação, simplicidade operacional e possibilidade de funcionamento local.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a solução proposta apresentou elevada aderência à conferência de referência no processo produtivo analisado. Após o tratamento dos dados, a diferença líquida entre a quantidade de referência e os registros da solução foi de 36 unidades em um total de 37.016 unidades avaliadas, resultando em acerto global de 99,90% e acerto ponderado de 99,87%. Esses resultados indicam que a arquitetura baseada em dispositivo embarcado, leitura de códigos, persistência local em SQLite e integração com ERP mostrou-se adequada para apoiar o apontamento de produção em uma indústria têxtil de *big bags*.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aderência de uma solução embarcada de baixo custo para apontamento de produção em uma linha produtiva da indústria têxtil de *big bags*, considerando a comparação entre os registros gerados pela solução e uma conferência de referência. A solução desenvolvida permitiu registrar os apontamentos produtivos diretamente no ambiente fabril, reduzindo a dependência de registros manuais e ampliando a disponibilidade das informações para acompanhamento da produção e integração com o sistema de gestão. Nesse contexto, o protótipo apresentou potencial para apoiar a redução de falhas associadas ao processo de apontamento, especialmente ao apoiar a validação de duplicidades, o vínculo entre o item produzido e a ordem de produção ativa, e a persistência local dos registros.

A combinação entre Raspberry Pi, leitor de códigos, aplicação cliente, banco de dados local SQLite e API de integração mostrou-se adequada ao contexto avaliado. A persistência local dos dados teve papel relevante no funcionamento da solução, pois permitiu manter informações da ordem de produção ativa e dos apontamentos realizados, favorecendo a validação de duplicidades mesmo em situações de indisponibilidade da API. Dessa forma, a solução não atuou apenas como um mecanismo de coleta, mas como uma base local de controle operacional com sincronização posterior.

Apesar dos resultados positivos, a pesquisa apresentou limitações. A avaliação quantitativa dependeu da disponibilidade de uma conferência de referência, o que restringiu o conjunto de dados analisado. A avaliação qualitativa contou com número reduzido de participantes. Além disso, eventos operacionais, como falhas de equipamento e problemas na identificação de etiquetas, podem influenciar a qualidade dos registros e

devem ser considerados em implantações futuras.

Como contribuição, o trabalho demonstrou a possibilidade de digitalizar gradualmente o apontamento de produção utilizando recursos acessíveis, persistência local e integração ao sistema de gestão existente. A arquitetura aproxima o chão de fábrica dos sistemas corporativos e pode ser replicada em ambientes que exigem operação local e sincronização posterior.

Futuras pesquisas podem investigar a interação entre usuário e tecnologia em ambientes industriais. Essa abordagem pode contribuir para reduzir barreiras de conhecimento tecnológico durante a implantação de sistemas industriais. Além disso, recomenda-se aprimorar os mecanismos de alerta ao operador e aprofundar a integração com o ERP, permitindo consultas, relatórios e acompanhamento gerencial em tempo real.

Conclui-se que a solução proposta atendeu ao objetivo de avaliar a aderência de um sistema embarcado de baixo custo para apontamento de produção de *big bags*. Os resultados indicaram elevada proximidade entre os registros gerados pela solução e a conferência de referência, além de percepção favorável dos usuários quanto à facilidade de uso e à contribuição da solução para o processo de apontamento.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que ferramentas de Inteligência Artificial generativa foram utilizadas exclusivamente como apoio auxiliar à elaboração deste trabalho, incluindo assistência na revisão linguística, estruturação textual e organização de ideias. Nenhuma ferramenta de IA foi utilizada para substituição da autoria intelectual, análise científica, interpretação dos resultados ou tomada de decisões acadêmicas. A responsabilidade integral pelo conteúdo, originalidade, veracidade das informações e conformidade com os princípios de integridade científica permanece integralmente atribuída aos autores.

REFERÊNCIAS

AMARA, S. B. et al. **The production tracking process in a real textile company**. In: **2023 IEEE Third International Conference on Signal, Control and Communication (SCC)**. IEEE, 2023. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10527732>. Acesso em: 02 jun. 2026.

BELIATIS, M. J. et al. **Next generation industrial iot digitalization for traceability in manufacturing industry**. Electronics, MDPI,

v. 10, n. 5, p. 628. 2021, Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/electronics10050628>>. Acesso em: 26 fev. 2026.

CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 4. ed. Sage Publications. Disponível em: <https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf>. 2014. Acesso em: 14 abr. 2026.

FRANKÓ, A.; VIDA, G.; VARGA, P. **Reliable identification schemes for asset and production tracking in industry 4.0**. Sensors, MDPI, v. 20, n. 13, p. 3709. 2020, Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s20133709>>. Acesso em: 26 fev. 2026.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. [S.l.]: Atlas. 2008.

HARPE, S. E. **How to analyze likert and other rating scale data**. Currents in Pharmacy Teaching and Learning, v. 7, n. 6, p. 836–850. 2015, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cptl.2015.08.001>>. Acesso em: 18 maio 2026.

ILIE-ZUDOR, E. et al. **A survey of applications and requirements of unique identification systems and rfid techniques**. Computers in Industry, v. 62, n. 3, p. 227–252. 2011, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361510001521>>. Acesso em: 14 abr. 2026.

INTALAR, N.; CHUMNUMPORN, K.; JEENANUNTA, C. **Towards industry 4.0: Digital transformation of traditional safety shoes manufacturer in thailand with a development of production tracking system**. Engineering Management in Production and Services. 2021, Disponível em: <<https://sciendo.com/pdf/10.2478/emj-2021-0033>>. Acesso em: 02 jun. 2026.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. 2013. Disponível em: <https://en.acatech.de/wp-content/uploads/sites/6/2018/03/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2026.

KIM, J. C.; MOON, I. Y. **A study on smart factory construction method for efficient production management in sewing industry**. Journal of Internet Computing and Services. 2020, Disponível em: <<https://www.jicce.org/journal/view.html?pn=related&uid=89&vmd=Full>>. Acesso em: 02 jun. 2026.

KIM, S.; KIM, H. **A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts**. International Journal of Forecasting, Elsevier, v. 32, n. 3, p. 669–679. 2016, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>>. Acesso em: 14 abr. 2026.

LEE, I.; LEE, K. **The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises**. Business Horizons, Elsevier, v. 58, n. 4, p. 431–440. 2015, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>>. Acesso em: 26 fev. 2026.

LEE, J. et al. **Industrial internet: Cyber-physical systems for future maintenance and service innovation**. Procedia CIRP, Elsevier, v. 38, p. 3–7. 2015, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.026>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

LI, X. et al. **Rfid-based tracking and monitoring approach of real-time data in production workshop**. Assembly Automation, Emerald, v. 39, n. 4, p. 648–663. 2019, Disponível em: <<https://www.emerald.com/ria/article/39/4/648/5769>>. Acesso em: 02 jun. 2026.

PRAKASH, V. et al. **Cloud- and edge-based erp systems for industrial internet of things and smart factory**. Procedia Computer Science, Elsevier, v. 200, p. 537–545. 2022, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.251>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. d. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa**. [S.l.]: Feevale. 2013.

Raspberry Pi Foundation. **Raspberry Pi 3 Model B**. 2024. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: 18 maio 2026.

Raspberry Pi Foundation. **Raspberry Pi Zero**. 2024. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero/>>. Acesso em: 18 maio 2026.

SHCHERBAKOV, M. V. et al. **A survey of forecast error measures**. World Applied Sciences Journal, v. 24, n. 24, p. 171–176. 2013, Disponível em: <<https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.24.itmies.80032>>. Acesso em: 14 abr. 2026.

SHI, W. et al. **Edge computing: Vision and challenges**. IEEE Internet of Things Journal, IEEE, v. 3, n. 5, p. 637–646. 2016, Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7488250>>. Acesso em: 23 fev. 2026.

SULLIVAN, G. M.; ARTINO, A. R. **Analyzing and interpreting data from likert-type scales**. Journal of Graduate Medical Education, v. 5, n. 4, p. 541–542. 2013, Disponível em: <<https://doi.org/10.4300/JGME-5-4-18>>. Acesso em: 18 maio 2026.

ZHONG, R. Y. et al. **Rfid-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 29, p. 283–292. 2012, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584512000956>>. Acesso em: 26 fev. 2026.