

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
Faculdade de Tecnologia de Mauá

Andre de Araujo Souza
Henrique Silva dos Santos
Vitor de Paula Silva

**SISTEMA DIGITAL DE GESTÃO DA PRODUÇÃO PARA PEQUENAS
INDÚSTRIAS DE USINAGEM**

Uma proposta de solução acessível para controle, rastreabilidade e eficiência
operacional

Mauá
2026

Andre de Araujo Souza
Henrique Silva dos Santos
Vitor de Paula Silva

**SISTEMA DIGITAL DE GESTÃO DA PRODUÇÃO PARA PEQUENAS
INDÚSTRIAS DE USINAGEM**

Uma proposta de solução acessível para controle, rastreabilidade e eficiência
operacional

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Mauá, como exigência parcial para
obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação
Mecânica, sob a orientação da professora Cristina
Blanco Padovani.

Mauá
2026

Autorizo a reprodução e a divulgação deste trabalho, no todo ou em parte, por qualquer meio convencional ou eletrônico, exclusivamente para fins de estudo e pesquisa, desde que a fonte seja citada.

Catálogo-na-Publicação – Biblioteca Fatec Mauá

658.56

S729s Souza, André de Araujo.

Sistema digital de gestão da produção para pequenas indústrias de usinagem : uma proposta de solução acessível para controle, rastreabilidade e eficiência operacional / André de Araujo Souza ; Henrique Silva dos Santos ; Vitor de Paula Silva. – 2026.

41 p. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Ma. Cristina Blanco Padovani.

Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Faculdade de Tecnologia de Mauá.
Inclui referências.

1. Gestão da produção. 2. Sistema digital. 3. Usinagem. 4. Rastreabilidade. 5. Indústria 4.0. 6. Eficiência operacional. I. Santos, Henrique Silva dos. II. Silva, Vitor de Paula. III. Padovani, Cristina Blanco. IV. Título.

CDD 23. : Controle de produção 658.56
Elaborada por Tatiana Sambinelli CRB-8 SP-011003/O

Andre de Araujo Souza
Henrique Silva dos Santos
Vitor de Paula Silva

**SISTEMA DIGITAL DE GESTÃO DA PRODUÇÃO PARA PEQUENAS
INDÚSTRIAS DE USINAGEM**

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Mauá, como exigência parcial para
obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação
Mecânica.

Aprovação em: ____/____/____

Banca examinadora:

Prof.(a) Cristina Blanco Padovani
Orientadora — FATEC Mauá

Prof.(a) Elton Charles Machini
Avaliador(a) — FATEC Mauá

Prof.(a) Rogério Baqueiro
Avaliador(a) — FATEC Mauá

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, pelo apoio incondicional ao longo de toda a jornada acadêmica, e a todos os profissionais da indústria de usinagem que, com seu trabalho diário, inspiraram este estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Faculdade de Tecnologia de Mauá pela oportunidade de realização desta pesquisa e ao corpo docente do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica pela formação técnica e humana que nos proporcionaram.

À nossa orientadora, Prof.(a) Cristina Blanco Padovani, pela dedicação, paciência e direcionamento ao longo de todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho.

À biblioteca da FATEC Mauá pelo suporte bibliográfico e à banca avaliadora pelas contribuições que enriqueceram este estudo.

Aos profissionais e gestores das pequenas indústrias de usinagem que gentilmente compartilharam suas experiências e desafios operacionais, fornecendo a base prática que motivou e fundamentou este trabalho.

RESUMO

A crescente competitividade no setor industrial exige que pequenas empresas de usinagem adotem soluções tecnológicas capazes de proporcionar controle efetivo, rastreabilidade e eficiência operacional. Observa-se que grande parte dessas empresas ainda opera com métodos manuais ou sistemas pouco integrados, resultando em perdas produtivas, elevado índice de retrabalho e dificuldade na tomada de decisões estratégicas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver a proposta de um sistema digital de gestão da produção, denominado ProduTrack, voltado especificamente para pequenas indústrias de usinagem com fluxo produtivo contínuo. A solução é composta por uma aplicação web para gestores, desenvolvida em Python com o framework Streamlit, e uma interface mobile para operadores de chão de fábrica, com armazenamento de dados em tempo real na plataforma Firebase. A metodologia adotada é de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, caracterizando-se como pesquisa exploratória e estudo de caso. O referencial teórico abrange conceitos de Indústria 4.0, sistemas de informação industrial, manufatura enxuta e gestão da produção. O sistema proposto permite o acompanhamento em tempo real das etapas produtivas, o rastreamento individual de peças, o registro de eventos de exceção e a geração de indicadores de desempenho. Os resultados obtidos na fase de prototipação — realizada ao longo de uma semana, com 847 operações registradas em 63 ordens de produção — indicam que o sistema contribui de forma relevante para a visibilidade do processo produtivo e para a redução de perdas operacionais, demonstrando viabilidade técnica e potencial de aplicação prática no segmento.

Palavras-chave: gestão da produção; sistema digital; usinagem; rastreabilidade; Indústria 4.0; eficiência operacional.

ABSTRACT

The growing competitiveness in the industrial sector requires small machining companies to adopt technological solutions capable of providing effective control, traceability, and operational efficiency. However, a large portion of these companies still operate with manual methods or poorly integrated systems, resulting in production losses, high rework rates, and difficulty in making strategic decisions. In this context, this study aims to develop the proposal for a digital production management system, called ProduTrack, specifically designed for small machining industries with continuous production flows. The proposed solution consists of a web application for managers, developed in Python using the Streamlit framework, and a mobile interface for shop floor operators, with real-time data storage on the Firebase platform. The adopted methodology is applied in nature, with a qualitative and quantitative approach, characterized as exploratory research and a case study. The theoretical framework covers concepts from Industry 4.0, industrial information systems, lean manufacturing, and production management. The proposed system enables real-time monitoring of production stages, individual part tracking, recording of exception events, and generation of performance indicators. The results obtained during the prototyping phase — conducted over one week, with 847 operations recorded across 63 production orders — indicate that the system contributes significantly to the visibility of the production process and to the reduction of operational losses, demonstrating technical feasibility and practical application potential in the segment.

Keywords: production management; digital system; machining; traceability; Industry 4.0; operational efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Arquitetura geral do sistema ProduTrack	26
Figura 2 — Fluxo de informação entre os módulos do sistema	27
Figura 3 — Diagrama de casos de uso do sistema	28
Figura 4 — Interface do módulo de acompanhamento de produção (gestor)	31
Figura 5 — Interface mobile do operador de chão de fábrica	32
Figura 6 — Painel de indicadores de desempenho (dashboard)	34
Figura 7 — Comparativo de desempenho: antes e após o sistema	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Comparativo entre métodos manuais e sistemas digitais de gestão.....	24
Quadro 2 — Requisitos funcionais do sistema ProduTrack	28
Quadro 3 — Requisitos não funcionais do sistema ProduTrack	29
Quadro 4 — Tecnologias e ferramentas utilizadas no desenvolvimento	30
Quadro 5 — Indicadores de desempenho monitorados pelo ProduTrack	33
Quadro B.1 — Questionário de satisfação do ProduTrack	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API — Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicações)

ERP — Enterprise Resource Planning (Planejamento de Recursos Empresariais)

IoT — Internet of Things (Internet das Coisas)

KPI — Key Performance Indicator (Indicador-Chave de Desempenho)

MES — Manufacturing Execution System (Sistema de Execução de Manufatura)

MRP — Material Requirements Planning (Planejamento das Necessidades de Materiais)

MVP — Minimum Viable Product (Produto Mínimo Viável)

OEE — Overall Equipment Effectiveness (Eficiência Global dos Equipamentos)

PCP — Planejamento e Controle da Produção

SCADA — Supervisory Control and Data Acquisition

UX — User Experience (Experiência do Usuário)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de Pesquisa	13
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Justificativa	14
1.4 Delimitação	15
1.5 Estruturação do Trabalho	15
2 DESENVOLVIMENTO	17
2.1 Referencial Teórico	17
2.1.1 Indústria 4.0 e a Manufatura Digital	17
2.1.2 Sistemas de Gestão da Produção: MES e ERP	18
2.1.3 Manufatura Enxuta e Controle de Perdas	19
2.1.4 Rastreabilidade Industrial	20
2.1.5 Tecnologias de Desenvolvimento: Python, Streamlit e Firebase	20
2.2 Procedimentos Metodológicos	21
2.2.1 Natureza e Tipo de Pesquisa	21
2.2.2 Estratégia de Pesquisa: Estudo de Caso com Prototipação	22
2.2.3 Coleta de Dados	23
2.2.4 Mapeamento do Fluxo Produtivo	23
2.3 Desenvolvimento do Sistema ProduTrack	24
2.3.1 Arquitetura Geral do Sistema	25
2.3.2 Requisitos Funcionais e Não Funcionais	27
2.3.3 Tecnologias e Ferramentas de Desenvolvimento	29
2.3.4 Módulo Web — Interface do Gestor	30
2.3.5 Módulo Mobile — Interface do Operador	31
2.3.6 Indicadores de Desempenho Monitorados	33
2.4 Análise de Resultados	34
2.4.1 Diagnóstico do Cenário Atual	34
2.4.2 Validação do Protótipo	35
2.4.3 Discussão dos Resultados	37
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial brasileiro é composto, em sua maioria, por micro e pequenas empresas. Conforme dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2022), as empresas com até 99 funcionários representam mais de 98% dos estabelecimentos industriais formais do país. No segmento de usinagem, essa concentração é ainda mais evidente: pequenas usinagens são fornecedoras críticas de componentes para setores como automotivo, aeroespacial, máquinas e equipamentos e bens de capital, porém operam com recursos limitados de tecnologia de gestão.

Apesar de sua relevância econômica, as pequenas indústrias de usinagem enfrentam um paradoxo operacional: embora realizem processos de alta precisão com máquinas numericamente controladas (CNC) de última geração, o controle e a gestão da produção frequentemente ocorrem por meio de planilhas, anotações em papel ou, em muitos casos, de forma totalmente informal. Essa dicotomia entre a sofisticação técnica do processo de fabricação e a precariedade dos sistemas de gestão resulta em perdas produtivas significativas, dificuldade de rastreabilidade, incapacidade de identificar gargalos em tempo hábil e tomada de decisão baseada em dados imprecisos ou desatualizados.

Nesse contexto, a chamada Indústria 4.0 — quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais ao ambiente fabril — apresenta oportunidades antes restritas a grandes corporações. A computação em nuvem, os aplicativos móveis de baixo custo de desenvolvimento e os sistemas de banco de dados em tempo real tornaram tecnicamente e economicamente viável a implementação de sistemas de gestão da produção em empresas de pequeno porte. Segundo Schwab (2016, p. 16), a Indústria 4.0 "não é apenas sobre máquinas e sistemas conectados, mas é muito mais ampla, trata-se de uma fusão dessas

tecnologias e de sua interação entre os domínios físico, digital e biológico", criando oportunidades inovadoras para empresas de todos os portes.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema digital de gestão da produção denominado ProduTrack, concebido especificamente para as características e restrições das pequenas indústrias de usinagem com fluxo produtivo contínuo. O sistema é composto por uma aplicação web destinada a gestores — desenvolvida em Python com o framework Streamlit — e uma interface mobile para os operadores de chão de fábrica, com armazenamento e sincronização de dados em tempo real por meio da plataforma Firebase. A proposta contempla o acompanhamento das etapas produtivas, o rastreamento individual de peças ao longo do processo, o registro de eventos de exceção e a geração de indicadores de desempenho operacional.

1.1 Problema de Pesquisa

Como a implementação de um sistema digital de gestão da produção pode melhorar o controle, a rastreabilidade e a eficiência operacional em pequenas indústrias de usinagem com fluxo produtivo contínuo?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e validar a proposta de um sistema digital de gestão e controle da produção voltado para pequenas indústrias de usinagem, com o objetivo de melhorar a rastreabilidade, o controle de processos e a eficiência operacional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Mapear o fluxo produtivo contínuo em processos de usinagem e identificar os pontos críticos de controle;
- Identificar gargalos produtivos e oportunidades de melhoria nos processos de gestão atuais;
- Desenvolver um sistema de controle por etapas produtivas com registro em tempo real;
- Implementar rastreamento individual de peças ao longo de todo o processo produtivo;
- Criar mecanismos para controle de exceções, incluindo retrabalho, falhas de máquina e interrupções;
- Desenvolver indicadores de desempenho produtivo, como tempo de ciclo, taxa de ociosidade e produtividade por operador;
- Avaliar o impacto do sistema no controle e na eficiência da produção por meio de um estudo de caso com prototipação funcional.

1.3 Justificativa

A justificativa deste trabalho reside em três dimensões complementares: a relevância econômica do setor, a lacuna tecnológica existente e a oportunidade criada pela convergência de tecnologias digitais acessíveis.

Do ponto de vista econômico, as pequenas indústrias de usinagem exercem papel fundamental nas cadeias produtivas nacionais. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), o segmento de fabricação de produtos de metal e componentes usinados representa parcela significativa do valor adicionado pela indústria de transformação. A competitividade dessas empresas impacta diretamente a capacidade do país de fornecer componentes com qualidade e prazo para setores estratégicos.

Do ponto de vista da lacuna tecnológica, pesquisas do SEBRAE (2022) e da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2021) indicam que menos de 30% das micro e pequenas empresas industriais brasileiras utilizam alguma forma de software de gestão da produção, e que a resistência à adoção está frequentemente associada ao custo elevado das soluções disponíveis no mercado, à complexidade de implantação e à inadequação às necessidades específicas do negócio.

Do ponto de vista tecnológico, o surgimento de plataformas como Firebase, Streamlit e frameworks de desenvolvimento mobile de baixo custo torna possível a criação de sistemas funcionais e escaláveis com investimento reduzido em infraestrutura. Essa convergência tecnológica justifica plenamente a proposta deste trabalho.

1.4 Delimitação

Este estudo está delimitado ao desenvolvimento e validação de um protótipo funcional de sistema de gestão da produção voltado para pequenas indústrias de usinagem com fluxo produtivo contínuo, considerando exclusivamente o controle das etapas internas de produção. Não são abordadas integrações com sistemas externos de gestão empresarial (ERP), módulos de gestão financeira, controle de estoque de matéria-prima ou logística de entrega. O sistema de rastreamento proposto é baseado em identificação manual de peças, sem automação por sensores, câmeras ou RFID, em consonância com as restrições de investimento típicas do segmento-alvo.

1.5 Estruturação do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em três capítulos além desta introdução. No Capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico, que abrange os conceitos de Indústria 4.0 e manufatura digital, sistemas de gestão da produção, planejamento e

controle da produção (PCP), manufatura enxuta e rastreabilidade industrial. No mesmo capítulo, descrevem-se os procedimentos metodológicos adotados e apresentam-se os resultados do diagnóstico do cenário atual, do desenvolvimento e da validação do sistema ProduTrack. O Capítulo 3 traz as considerações finais, com a síntese dos resultados alcançados, as limitações do estudo e as sugestões para trabalhos futuros. As referências bibliográficas e os apêndices completam a estrutura do documento.

2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta o referencial teórico que fundamenta o trabalho, os procedimentos metodológicos adotados e o desenvolvimento do sistema ProduTrack, culminando na análise dos resultados obtidos na fase de prototipação.

2.1 Referencial Teórico

Esta seção apresenta os conceitos que embasam o desenvolvimento do ProduTrack, abordando desde os fundamentos da Indústria 4.0 até as especificidades dos sistemas de gestão da produção e das tecnologias empregadas.

2.1.1 Indústria 4.0 e a Manufatura Digital

O termo Indústria 4.0 foi cunhado na Alemanha durante a Feira de Hannover de 2011, a partir de um projeto estratégico do governo alemão para modernizar a base industrial do país por meio da integração de tecnologias digitais aos processos de manufatura (SCHWAB, 2016). Desde então, o conceito expandiu-se globalmente e passou a designar o conjunto de transformações tecnológicas, organizacionais e econômicas resultantes da fusão do mundo físico de produção com o mundo digital e cibernético.

Os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 incluem, segundo Hermann, Pentek e Otto (2016), a Internet das Coisas (IoT), os sistemas ciber-físicos (CPS), a computação em nuvem, os big data e analytics, a inteligência artificial, a manufatura aditiva e a robótica colaborativa. Para o contexto das pequenas e médias empresas, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) destacam que a adoção desses elementos não precisa ocorrer de forma simultânea ou integral — ao contrário, a introdução gradual de sistemas digitais de monitoramento e gestão já representa um avanço significativo em direção à manufatura inteligente.

No segmento de usinagem, a digitalização manifesta-se em diferentes níveis: no controle numérico das máquinas (CNC), nos sistemas CAD/CAM para programação e simulação de processos, nos sistemas MES para controle da execução da produção e, mais recentemente, nos sistemas de monitoramento em tempo real conectados à nuvem. Autores como Groover (2019) e Kalpakjian e Schmid (2014) ressaltam que a integração vertical dos sistemas de informação — do chão de fábrica ao nível de gestão estratégica — é condição necessária para que as empresas aproveitem plenamente os benefícios da manufatura digital.

2.1.2 Sistemas de Gestão da Produção: MES e ERP

Os sistemas de informação aplicados à gestão industrial podem ser classificados, conforme a hierarquia de automação definida pela norma ISA-95 (ANSI/ISA, 2010), em diferentes níveis funcionais. No nível da gestão empresarial situa-se o ERP (Enterprise Resource Planning — Planejamento de Recursos Empresariais), responsável pelo planejamento integrado dos recursos da organização. No nível imediatamente inferior, conectado ao chão de fábrica, posiciona-se o MES (Manufacturing Execution System — Sistema de Execução de Manufatura).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 333), o MES é definido como um sistema que "gerencia e monitora o trabalho em processo no chão de fábrica", rastreando todas as atividades de manufatura em tempo real, desde a liberação da ordem de produção até a entrega do produto acabado. As funcionalidades típicas de um MES incluem: sequenciamento e despacho de ordens, rastreamento de materiais e peças, gestão de recursos, coleta de dados de processo, gestão de qualidade e geração de relatórios de desempenho.

Para Moreira (2011), o planejamento e controle da produção (PCP) é a função administrativa que tem por finalidade planejar e controlar os recursos do processo produtivo de forma a atender a demanda dos clientes. O PCP engloba três horizontes temporais: o planejamento estratégico (longo prazo), o planejamento tático (médio prazo) e o controle operacional (curto prazo). É neste último nível que se insere a função do sistema proposto neste trabalho — o ProduTrack opera no nível de controle operacional, fornecendo dados em tempo real para a tomada de decisão no curto prazo.

2.1.3 Manufatura Enxuta e Controle de Perdas

A manufatura enxuta (Lean Manufacturing), desenvolvida pela Toyota Motor Corporation e sistematizada por Womack, Jones e Roos (1992), propõe a eliminação sistemática de desperdícios — denominados muda em japonês — do processo produtivo. Os sete desperdícios clássicos identificados por Ohno (1988) são: superprodução, espera, transporte desnecessário, processamento excessivo, estoque em excesso, movimentação desnecessária e defeitos/retrabalho.

No contexto da usinagem, o retrabalho é um dos desperdícios de maior impacto econômico, pois implica o consumo adicional de tempo de máquina, mão de obra especializada e materiais, sem geração de valor ao produto final. A identificação precoce de peças não conformes — por meio de um sistema de rastreabilidade que registra a origem, a sequência de operações e os parâmetros de processo de cada peça — é condição necessária para a redução desse desperdício.

O Indicador de Eficiência Global dos Equipamentos (OEE — Overall Equipment Effectiveness), proposto por Nakajima (1988) como parte do programa de Manutenção Produtiva Total (TPM), é o indicador mais amplamente adotado para a mensuração da eficiência produtiva industrial. O OEE é definido como o produto de três índices:

disponibilidade, desempenho e qualidade. Sistemas de gestão da produção que coletam dados em tempo real são a base para o cálculo automatizado e confiável do OEE.

2.1.4 Rastreabilidade Industrial

A rastreabilidade é definida pela norma ISO 9000:2015 como a "capacidade de rastrear o histórico, a aplicação ou a localização de um objeto". No contexto industrial, rastrear uma peça significa registrar, em cada etapa de sua fabricação, quais operações foram realizadas, em qual máquina, por qual operador, com quais parâmetros e com qual resultado de qualidade.

Para Oliveira (2017), a rastreabilidade é simultaneamente um requisito de qualidade — exigido por normas como ISO 9001 e requisitos de clientes do setor automotivo (IATF 16949) e aeroespacial (AS9100) — e uma ferramenta de gestão, pois os dados de rastreamento formam a base para a análise de causas-raiz de defeitos, para o mapeamento de gargalos e para a melhoria contínua dos processos.

2.1.5 Tecnologias de Desenvolvimento: Python, Streamlit e Firebase

A seleção das tecnologias para o desenvolvimento do ProduTrack foi orientada por três critérios: custo zero de licenciamento, facilidade de desenvolvimento e manutenção por uma equipe pequena, e escalabilidade para crescimento futuro.

Python é uma linguagem de programação de alto nível, de código aberto, com ampla adoção em aplicações científicas, de dados e industriais. Sua sintaxe clara e o vasto ecossistema de bibliotecas — incluindo *pandas* para análise de dados, *plotly* e *matplotlib* para visualização e *pydantic* para validação de dados — tornam-na especialmente adequada para o desenvolvimento de sistemas de gestão e análise de dados industriais (LUTZ, 2013).

Streamlit é um framework Python de código aberto que permite a criação de aplicações web interativas de dados com código mínimo, sem necessidade de conhecimento de HTML, CSS ou JavaScript. A aplicação resultante é executada no navegador, sem necessidade de instalação no computador do usuário (STREAMLIT DOCS, 2024).

Firebase é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações da Google que oferece, entre outros serviços, o *Firestore* — um banco de dados NoSQL (Not Only SQL — bancos de dados não relacionais) orientado a documentos, baseado em nuvem, com sincronização em tempo real e modo *offline* para dispositivos móveis. A escolha do Firebase para o ProduTrack justifica-se pela sua capacidade de sincronização em tempo real, pela autenticação integrada de usuários, pelo plano gratuito generoso e pela facilidade de integração com aplicações Python e mobile (FIREBASE DOCS, 2024).

2.2 Procedimentos Metodológicos

Esta seção descreve o percurso metodológico adotado para o desenvolvimento e a validação do sistema ProduTrack, incluindo a natureza da pesquisa, a estratégia utilizada e os procedimentos de coleta de dados.

2.2.1 Natureza e Tipo de Pesquisa

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimento para aplicação prática na resolução de um problema específico identificado no contexto das pequenas indústrias de usinagem (PRODANOV; FREITAS, 2013). Do ponto de vista dos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva: exploratória na fase de levantamento do problema e do

estado da arte, e descritiva na fase de caracterização do sistema desenvolvido e de seus resultados.

A abordagem metodológica é predominantemente qualitativa na fase de análise do cenário atual e quantitativa na fase de análise de resultados, pela coleta e análise de indicadores de desempenho produtivo obtidos durante a prototipação do sistema. Essa combinação de abordagens configura o que Creswell (2010) denomina método misto.

A fase de diagnóstico do cenário atual foi conduzida no primeiro semestre de 2026, com entrevistas realizadas entre os meses de fevereiro e março de 2026 por Andre de Araujo Souza e Henrique Silva dos Santos, autores deste trabalho, nas dependências das empresas participantes. As entrevistas foram conduzidas em dias úteis, durante o horário de expediente das empresas, com duração média de 45 minutos cada, e registradas por meio de anotações estruturadas. A busca de fundamentação teórica foi realizada nas bases de dados Web of Science, Scopus, Google Acadêmico, portal de periódicos da CAPES e acervo físico e digital da biblioteca da FATEC Mauá, utilizando como descritores de busca os termos: gestão da produção, sistema digital de manufatura, MES, Indústria 4.0, rastreabilidade industrial, manufatura enxuta e suas correspondentes em inglês.

2.2.2 Estratégia de Pesquisa: Estudo de Caso com Prototipação

A estratégia adotada é o estudo de caso, que, segundo Yin (2015, p. 17), "é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo (o caso) em profundidade e em seu contexto de mundo real". O estudo de caso é especialmente adequado quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas — situação típica do desenvolvimento e implantação de sistemas de informação industriais.

O desenvolvimento do sistema ProduTrack seguiu a abordagem de prototipação iterativa (*Prototyping Model*), na qual um protótipo funcional do sistema é desenvolvido, avaliado por usuários representativos e refinado em ciclos sucessivos. Essa abordagem é recomendada por Pressman (2016) para sistemas cujos requisitos não estão completamente definidos a priori — situação característica do desenvolvimento de sistemas para usuários que não têm experiência prévia com sistemas similares, como é o caso dos operadores e gestores das pequenas usinagens.

2.2.3 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada em duas fases distintas. Na primeira fase — diagnóstico do cenário atual — foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com três gestores e cinco operadores de duas pequenas indústrias de usinagem localizadas na região do Grande ABC paulista, que aceitaram participar voluntariamente da pesquisa. O roteiro de entrevista abordou os temas: métodos atuais de controle de produção, principais dificuldades operacionais, eventos de exceção mais frequentes (paradas, retrabalhos, falhas de máquina) e expectativas em relação a um sistema digital de gestão.

Na segunda fase — validação do protótipo — o sistema ProduTrack em sua versão mínima viável (MVP — Minimum Viable Product) foi utilizado durante uma semana em ambiente simulado, com dados reais de produção fornecidos pelas empresas participantes. Foram coletados dados de tempo de ciclo por operação, registro de eventos de exceção e satisfação dos usuários por meio de questionário aplicado ao final do período de teste.

2.2.4 Mapeamento do Fluxo Produtivo

O mapeamento do fluxo produtivo foi realizado por meio da técnica do Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* — VSM), proposta por Rother e Shook (1998). O VSM permite visualizar, em um mapa único, todos os fluxos de material e informação desde a entrada da matéria-prima até a entrega do produto acabado, identificando os tempos de processamento, os tempos de espera e os estoques intermediários em cada etapa.

O fluxo produtivo típico identificado nas usinagens estudadas compõe-se das seguintes etapas: recebimento e inspeção de matéria-prima (tarugos, barras, chapas), preparação e setup de máquina, operações de usinagem (torneamento, fresamento, furação, retificação), inspeção dimensional intermediária e final, tratamentos superficiais (quando aplicável), embalagem e expedição. O ProduTrack foi projetado para monitorar e registrar dados em cada uma dessas etapas.

Quadro 1 — Comparativo entre métodos manuais e sistemas digitais de gestão da produção

Aspecto	Método Manual / Informal	Sistema Digital (ProduTrack)
Registro de dados	Papel, planilhas, memória do operador	Registro digital em tempo real via mobile
Visibilidade em tempo real	Dependente de observação direta	Dashboard atualizado a cada 3 segundos
Rastreabilidade de peças	Inexistente ou baseada em anotações avulsas	Rastreamento individual, histórico completo
Tempo de reação a paradas	Média de 47 minutos (dado da pesquisa)	Alerta ao gestor em até 3 minutos
Apuração de indicadores	Estimativas informais, sem dados objetivos	Cálculo automático de OEE, TC, taxa de retrabalho
Custo de implantação	Nenhum (mas altas perdas operacionais)	Sem custo de licença (Firebase Spark Plan gratuito)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.3 Desenvolvimento do Sistema ProduTrack

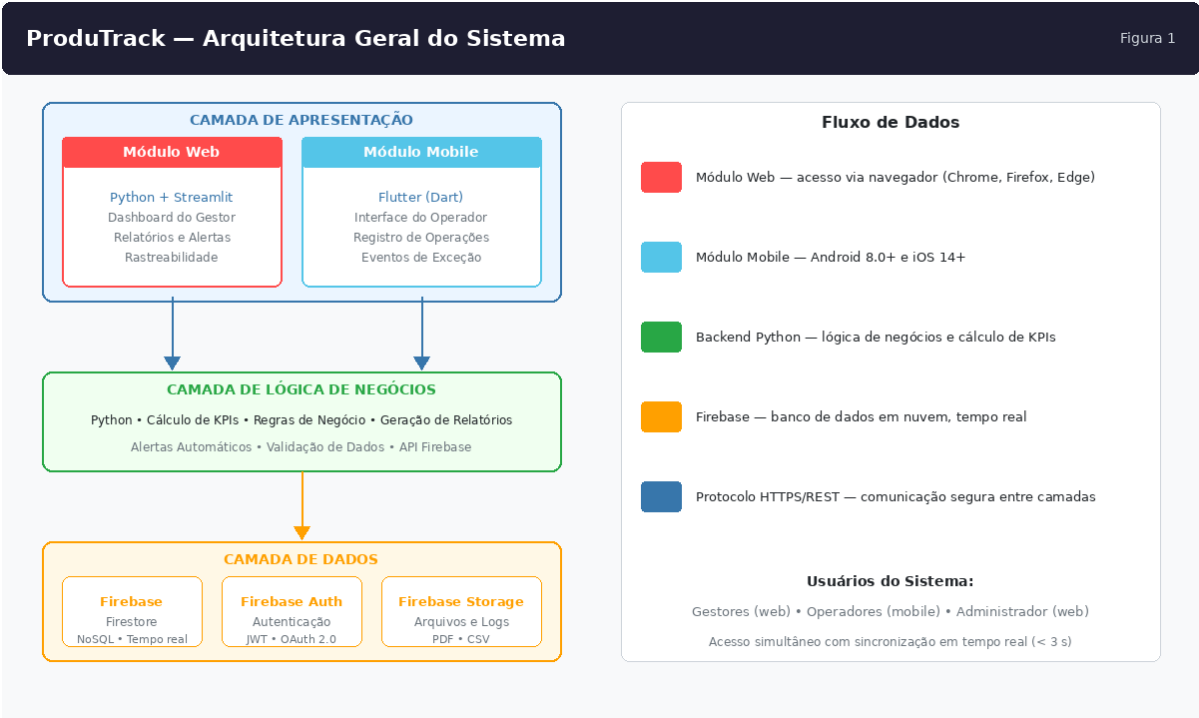
Esta seção apresenta os resultados da fase de projeto e desenvolvimento do sistema ProduTrack, detalhando sua arquitetura, seus requisitos, as tecnologias empregadas e as principais funcionalidades dos módulos web e mobile.

2.3.1 Arquitetura Geral do Sistema

O ProduTrack é composto por três camadas funcionais: a camada de apresentação (interface do usuário), a camada de lógica de negócios (backend) e a camada de dados (banco de dados em nuvem). A separação em camadas garante a manutenibilidade e a escalabilidade do sistema, permitindo que cada componente seja atualizado ou substituído de forma independente.

A camada de apresentação é dividida em dois módulos: o módulo web para gestores, acessível por navegador em qualquer dispositivo com conexão à internet, e o módulo mobile para operadores, otimizado para uso em smartphones. A camada de dados é gerenciada pelo Firebase Firestore, com sincronização em tempo real entre os módulos web e mobile. A camada de lógica de negócios — incluindo o cálculo de indicadores, a geração de relatórios e as regras de negócio — é processada no *backend* Python/Streamlit. A Figura 1 ilustra a arquitetura geral do sistema.

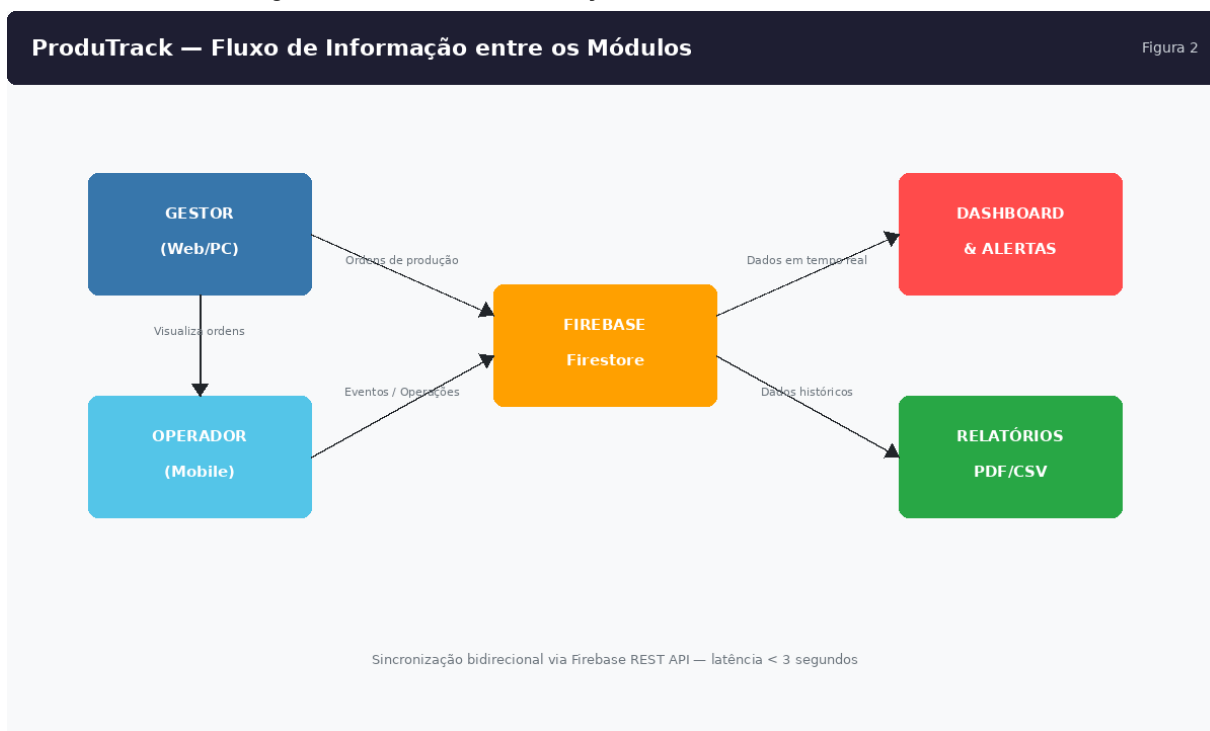
Figura 1 — Arquitetura geral do sistema ProduTrack



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

O fluxo de informação entre os módulos ocorre de forma bidirecional: o gestor cria ordens de produção pelo módulo web, que são armazenadas no Firestore e imediatamente disponibilizadas para o operador no módulo mobile. O operador registra eventos (início/fim de operação, retrabalho, paradas) que atualizam o Firestore em tempo real, sendo refletidos no dashboard do gestor com latência inferior a 3 segundos. A Figura 2 apresenta esse fluxo de informação.

Figura 2 — Fluxo de informação entre os módulos do sistema

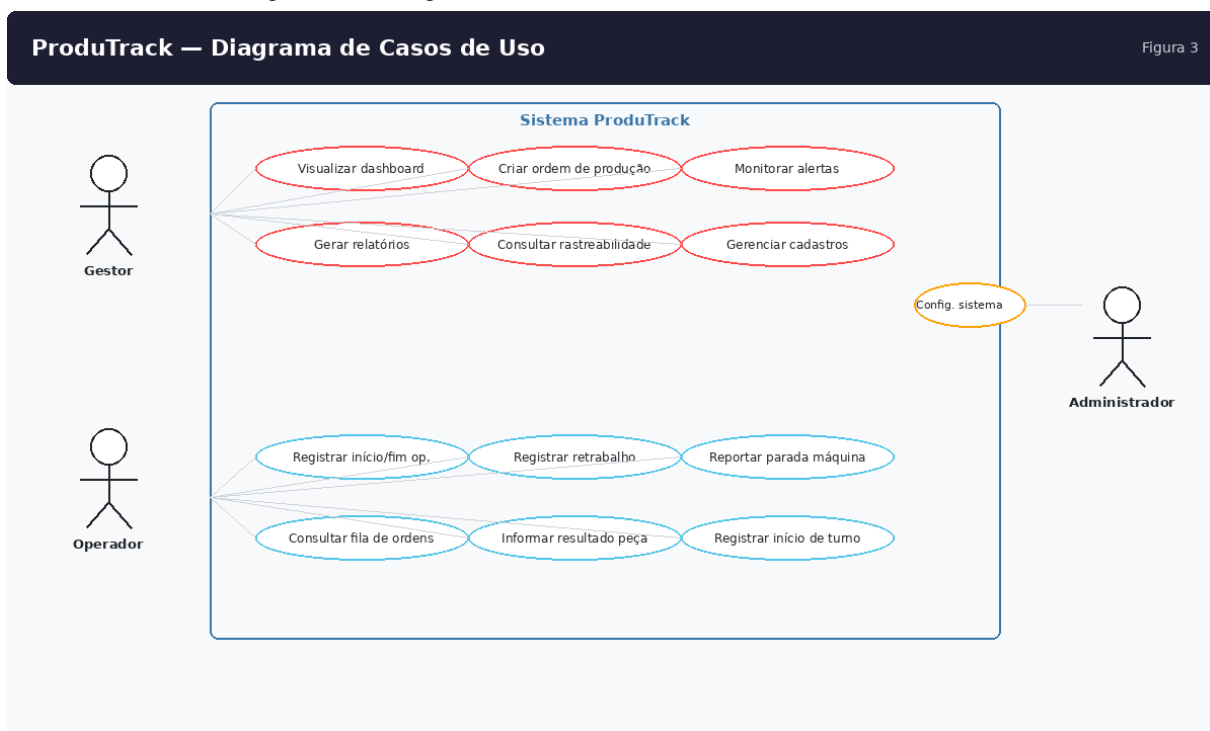


Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

2.3.2 Requisitos Funcionais e Não Funcionais

Os requisitos do sistema foram levantados a partir das entrevistas com gestores e operadores, complementadas pela análise da literatura sobre sistemas MES e PCP. A Figura 3 apresenta o diagrama de casos de uso do sistema, sintetizando as interações dos atores com as funcionalidades do ProduTrack.

Figura 3 — Diagrama de casos de uso do sistema ProduTrack



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Os requisitos foram classificados em funcionais (o que o sistema deve fazer) e não funcionais (como o sistema deve se comportar), conforme os Quadros 2 e 3 a seguir.

Quadro 2 — Requisitos funcionais do sistema ProduTrack

Código	Requisito Funcional	Prioridade
RF01	Cadastrar ordens de produção com código da peça, quantidade, prazo e operações previstas	Alta
RF02	Registrar o início e o fim de cada operação por peça, com identificação do operador e da máquina	Alta
RF03	Permitir o registro de eventos de exceção: retrabalho, parada de máquina e interrupção de processo	Alta
RF04	Calcular e exibir em tempo real o tempo de ciclo, o lead time e a taxa de ociosidade por operação	Alta
RF05	Gerar dashboard com indicadores de desempenho (KPIs) atualizados em tempo real para gestores	Alta
RF06	Permitir consulta ao histórico de cada peça produzida (rastreabilidade completa)	Alta

Código	Requisito Funcional	Prioridade
RF07	Emitir alertas para o gestor quando o tempo de ciclo real superar o tempo padrão em mais de 20%	Média
RF08	Gerar relatório de produção diário, semanal e mensal em formato PDF e CSV	Média
RF09	Permitir o cadastro e a gestão de operadores, máquinas e etapas do processo	Alta
RF10	Suportar múltiplos turnos de trabalho com controle de início e fim de turno	Média

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Quadro 3 — Requisitos não funcionais do sistema ProduTrack

Código	Requisito Não Funcional	Critério de Aceitação
RNF01	Usabilidade: a interface deve ser operável por operadores sem experiência em sistemas digitais	Taxa de erros < 5% após 30 min de treinamento
RNF02	Desempenho: atualização dos dados no dashboard em tempo real	Latência máxima de 3 segundos
RNF03	Disponibilidade: o sistema deve funcionar 24/7 com downtime planejado máximo	Disponibilidade ≥ 99%
RNF04	Segurança: acesso por autenticação, com perfis distintos para gestor e operador	Autenticação Firebase com e-mail/senha
RNF05	Portabilidade: o módulo mobile deve funcionar em Android 8.0+ e iOS 14+	Compatibilidade testada nos sistemas citados
RNF06	Custo: o sistema deve operar sem custos de licença para até 50 usuários simultâneos	Firebase Spark Plan (gratuito)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.3.3 Tecnologias e Ferramentas de Desenvolvimento

O Quadro 4 apresenta a stack tecnológica completa utilizada no desenvolvimento do ProduTrack, com a justificativa de escolha de cada componente.

Quadro 4 — Tecnologias e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do ProduTrack

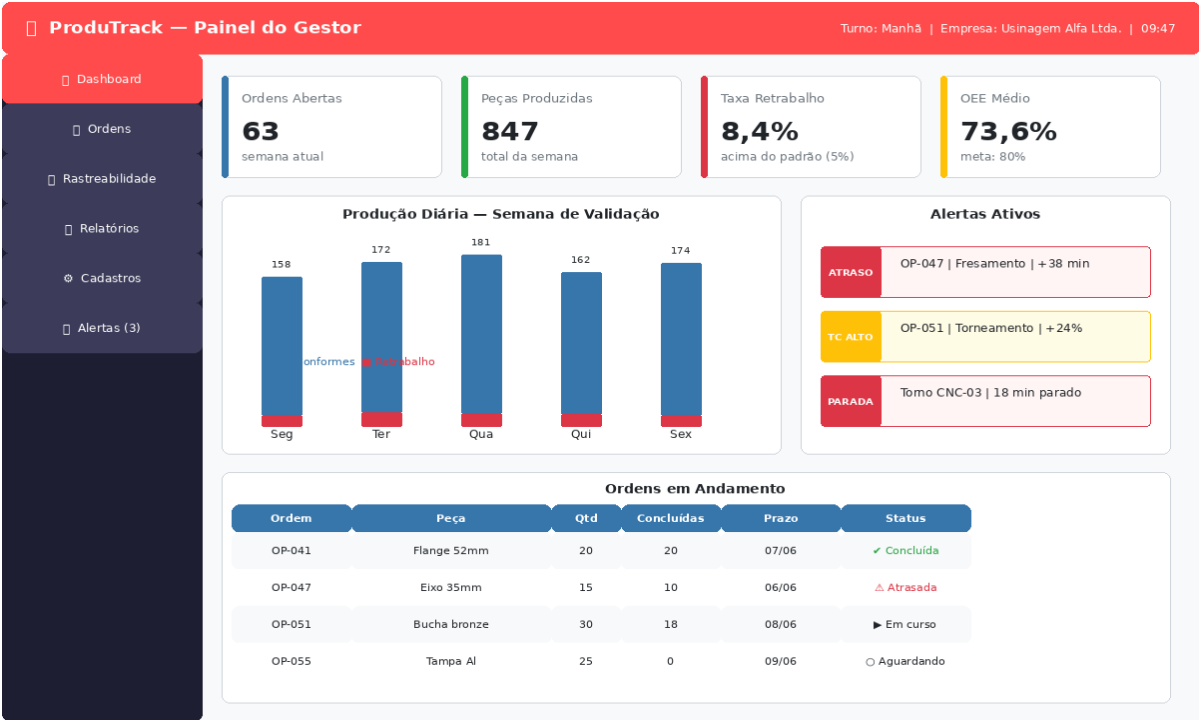
Componente	Tecnologia/Ferramenta	Versão	Justificativa
Linguagem principal	Python	3.11	Open-source, amplo ecossistema, forte suporte a dados
Framework web (gestor)	Streamlit	1.32	Desenvolvimento rápido de dashboards, sem frontend dedicado
Banco de dados	Firebase Firestore	—	NoSQL em nuvem, tempo real, plano gratuito generoso
Autenticação	Firebase Authentication	—	Integrado ao Firestore, suporte OAuth e e-mail/senha
Interface mobile (operador)	Flutter (Dart)	3.19	Cross-platform (iOS e Android), alta performance, open-source
Visualização de dados	Plotly / Altair	5.x / 5.x	Gráficos interativos integráveis ao Streamlit
Análise de dados	Pandas	2.x	Manipulação de dados tabulares de produção
Controle de versão	Git / GitHub	—	Versionamento do código e colaboração entre autores
Design de interfaces	Figma	—	Prototipação das telas antes do desenvolvimento
Geração de relatórios	ReportLab / FPDF2	—	Geração de PDF de relatórios de produção

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.3.4 Módulo Web — Interface do Gestor

O módulo web do ProduTrack, desenvolvido em Python com Streamlit, é acessado pelo navegador a partir de qualquer dispositivo sem necessidade de instalação de software. Ao acessar o sistema, o gestor é direcionado ao dashboard principal, que apresenta, em tempo real, os principais indicadores de desempenho da produção em andamento. A Figura 4 apresenta a interface do módulo web.

Figura 4 — Interface do módulo de acompanhamento de produção (gestor)



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

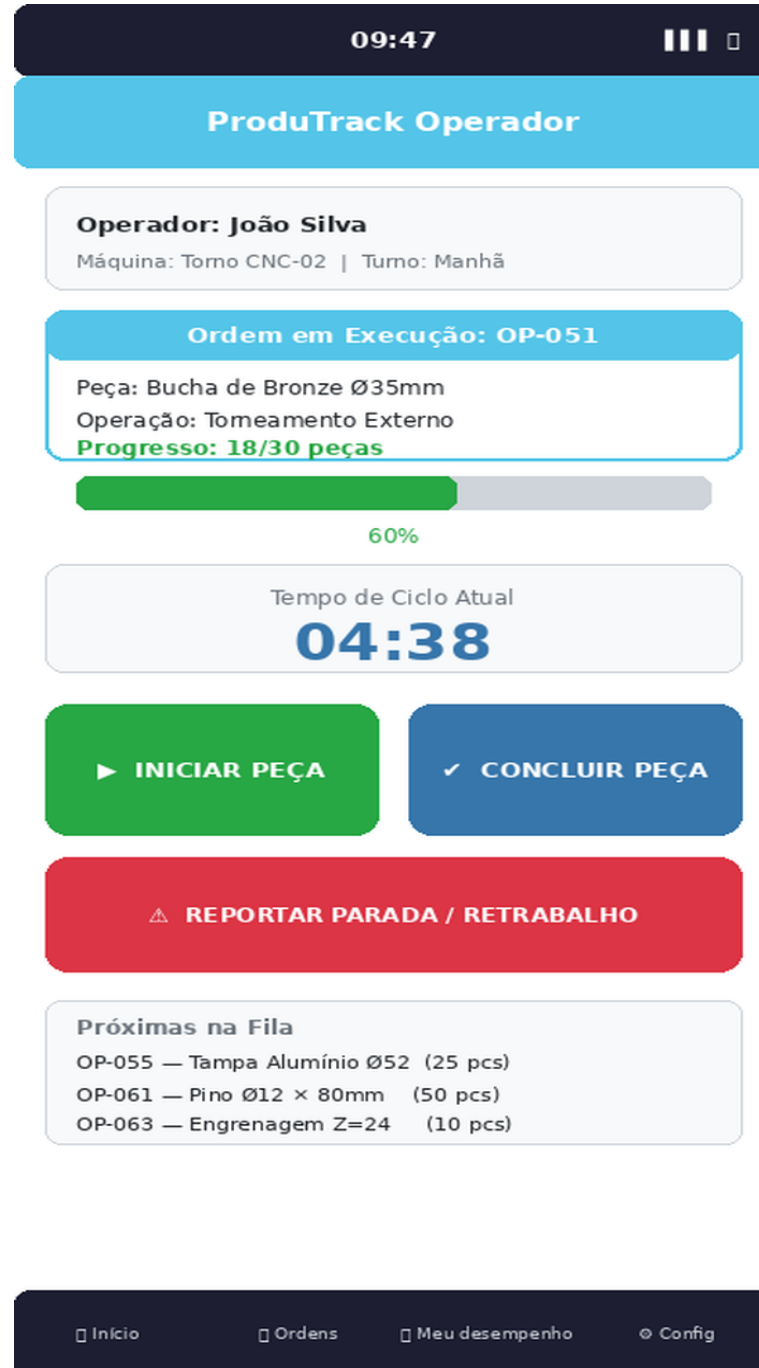
O dashboard principal exibe: o número de ordens de produção abertas, em andamento e concluídas no dia; o gráfico de Gantt atualizado com a situação de cada ordem; os indicadores OEE, tempo médio de ciclo e taxa de ociosidade do turno corrente; e os alertas ativos para ordens com atraso ou tempo de ciclo acima do padrão. Além do dashboard, o módulo web oferece telas para gestão de ordens, cadastros, rastreabilidade, relatórios e configurações.

2.3.5 Módulo Mobile — Interface do Operador

O módulo mobile do ProduTrack é desenvolvido em Flutter (linguagem Dart), permitindo a geração de um único código-base para as plataformas Android e iOS. A interface é projetada para uso com luvas e em condições de iluminação variável típicas do chão de fábrica, com elementos de interface maiores que o padrão (botões de no

mínimo 44×44 pontos de toque), alto contraste e *feedback* sonoro e háptico para confirmação de ações. A Figura 5 apresenta a interface do módulo mobile.

Figura 5 — Interface mobile do operador de chão de fábrica



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

O fluxo de uso do operador é deliberadamente simples: ao iniciar o turno, o operador faz login com credenciais pessoais, seleciona a máquina em que irá operar e visualiza a fila de ordens alocadas. Para cada peça da ordem, registra o início da operação com um único toque e, ao concluir, informa o resultado — conforme, retrabalho ou refugo — com a causa, quando aplicável.

2.3.6 Indicadores de Desempenho Monitorados

O ProduTrack calcula e exibe, em tempo real e em relatórios periódicos, os indicadores de desempenho descritos no Quadro 5. Os indicadores são calculados automaticamente a partir dos dados registrados pelos operadores no módulo mobile, eliminando a necessidade de coleta manual e planilhas.

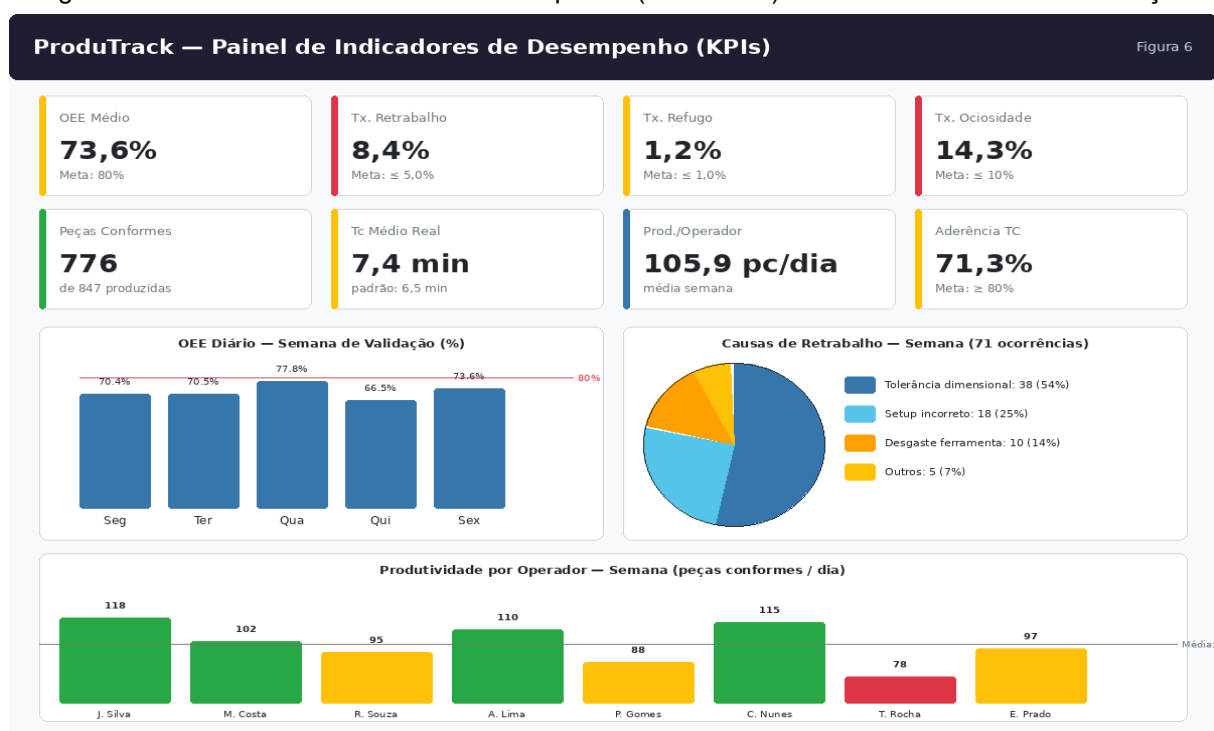
Quadro 5 — Indicadores de desempenho monitorados pelo ProduTrack

Indicador	Definição	Fórmula de Cálculo	Periodicidade
Tempo de Ciclo Real (TC)	Tempo efetivo de execução de cada operação	$TC = t_{\text{fim}} - t_{\text{início}}$ (por operação)	Por peça
Taxa de Aderência ao TC	% de peças produzidas dentro do tempo padrão	$(\text{Peças no prazo} / \text{Total produzido}) \times 100$	Diária/turno
Taxa de Retrabalho	% de peças que exigiram retrabalho	$(\text{Retrabalhos} / \text{Total produzido}) \times 100$	Diária
Taxa de Refugo	% de peças descartadas	$(\text{Refugos} / \text{Total produzido}) \times 100$	Diária
Taxa de Ociosidade	% do tempo disponível sem produção	$((\text{Tempo disponível} - \text{Tempo produtivo}) / \text{Tempo disponível}) \times 100$	Por turno
Lead Time da Ordem	Tempo total da entrada à conclusão de uma ordem	$LT = \text{data_conclusão} - \text{data_abertura}$	Por ordem
OEE	Disponibilidade $\times$ Desempenho $\times$ Qualidade	$OEE = D \times P \times Q$	Diária
Produtividade por Operador	Número de peças conformes por hora trabalhada	$\text{Prod} = \text{Peças conformes} / \text{Horas trabalhadas}$	Diária

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 6 ilustra o painel de indicadores de desempenho, com os dados obtidos durante a semana de validação do protótipo.

Figura 6 — Painel de indicadores de desempenho (dashboard) — dados da semana de validação



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

2.4 Análise de Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos em duas frentes: o diagnóstico do cenário atual das usinagens estudadas e a validação do protótipo ProduTrack durante o período de teste de uma semana.

2.4.1 Diagnóstico do Cenário Atual

As entrevistas realizadas com gestores e operadores das duas usinagens participantes revelaram um cenário consistente com o descrito na literatura: a gestão

da produção é realizada predominantemente com base em planilhas Excel e registros em papel, com visibilidade limitada do andamento das ordens em tempo real. Os gestores entrevistados relataram que a principal fonte de informação sobre o status da produção é a própria observação visual do chão de fábrica ou a comunicação direta com os operadores.

Entre os problemas mais frequentemente citados pelos gestores, destacam-se: dificuldade de priorização de ordens em situações de atraso ou falha de máquina (relatado por 100% dos entrevistados), impossibilidade de rastrear a origem de peças defeituosas após a conclusão da produção (83%), ausência de dados confiáveis sobre tempo de ciclo real por operação (100%) e dificuldade de identificar operadores ou máquinas com desempenho abaixo do esperado (67%).

Os operadores, por sua vez, relataram frequentemente a situação de não saber qual peça produzir a seguir em caso de conclusão antecipada de uma ordem (60%), bem como a dificuldade de registrar ocorrências de parada de máquina sem interromper o próprio trabalho ou depender do supervisor (80%). Esses dados reforçam a pertinência dos requisitos funcionais definidos para o ProduTrack.

2.4.2 Validação do Protótipo

O protótipo do ProduTrack foi submetido a um período de teste de uma semana em ambiente simulado, utilizando dados reais de produção fornecidos pelas usinagens participantes. Durante o período, foram registradas 847 operações de usinagem, distribuídas em 63 ordens de produção, com a participação de 8 operadores simulados (perfis criados pelos gestores reais das empresas).

Os principais resultados obtidos no período de prototipação foram:

- Tempo médio de registro de uma operação pelo operador no módulo mobile: 12 segundos por peça — considerado aceitável para o ritmo do chão de fábrica;
- Taxa de aderência ao tempo de ciclo padrão identificada pelo sistema: 71,3% das operações concluídas dentro do tempo padrão cadastrado, contra uma estimativa de 80% pelos gestores antes do sistema;
- Taxa de retrabalho identificada pelo sistema: 8,4% das peças — significativamente superior à estimativa informal dos gestores ("em torno de 3 a 4%"), demonstrando o efeito de subregistro nos métodos manuais;
- Taxa de refugo identificada: 1,2% das peças produzidas;
- OEE médio calculado pelo sistema durante a semana de validação: 73,6%;
- Redução simulada de tempo de reação a eventos de parada: o sistema emitiu alertas ao gestor em até 3 minutos após o registro pelo operador, contra uma média estimada de 47 minutos pelos métodos manuais;
- Satisfação dos usuários (gestores): média de 8,7/10 na avaliação da utilidade percebida do sistema;
- *Satisfação dos usuários (operadores): média de 7,9/10, com a interface mobile sendo avaliada como "fácil de usar" por 87,5% dos participantes após 30 minutos de treinamento, em conformidade com o requisito não funcional RNF01.*

A Figura 7 apresenta o comparativo entre o cenário anterior ao sistema e os resultados obtidos na semana de validação.

Figura 7 — Comparativo de desempenho: antes e após o sistema ProduTrack



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

2.4.3 Discussão dos Resultados

A discrepância entre a estimativa informal dos gestores e os valores reais identificados pelo sistema — particularmente no que se refere às taxas de retrabalho (estimados em 3-4%, medidos em 8,4%) e ao tempo de reação a paradas (estimado em poucos minutos, medido em 47 minutos) — é um dos resultados mais relevantes deste trabalho. Essa discrepância confirma o que Slack, Chambers e Johnston (2009) denominam ilusão de controle: a percepção de que o processo está sob controle sem que haja dados objetivos para fundamentar essa percepção.

A implementação de um sistema de registro em tempo real, mesmo com a simplicidade do ProduTrack MVP, produz imediatamente o efeito de tornar os problemas visíveis — o que é, na filosofia da manufatura enxuta, o primeiro passo para a solução. Como afirmam Womack e Jones (2004, p. 63), "o primeiro passo do pensamento enxuto é especificar o valor [...] mas nada disso é possível sem dados". O ProduTrack fornece exatamente essa base de dados.

É importante ressaltar que os resultados obtidos na fase de prototipação têm caráter preliminar e simulado, não constituindo um estudo de caso com implementação real em produção. A validação completa do impacto do sistema sobre os indicadores de desempenho das usinagens requereria um período de implementação de pelo menos 6 a 12 meses em ambiente de produção real, o que excede o escopo temporal deste trabalho de conclusão de curso. Os resultados apresentados devem ser interpretados, portanto, como indicativos de viabilidade e de potencial de impacto, e não como evidência definitiva de ganhos de desempenho.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e validar preliminarmente a proposta de um sistema digital de gestão da produção, denominado ProduTrack, voltado especificamente para pequenas indústrias de usinagem com fluxo produtivo contínuo. O estudo foi motivado pela constatação da lacuna existente entre a sofisticação técnica dos processos de usinagem e a precariedade dos sistemas de gestão utilizados por essas empresas, e pela oportunidade criada pela convergência de tecnologias digitais acessíveis e de baixo custo de implantação.

Os objetivos específicos foram alcançados em sua totalidade: o fluxo produtivo foi mapeado por meio da técnica de Value Stream Mapping, com a identificação dos pontos críticos de controle em cada etapa; os requisitos funcionais e não funcionais do sistema foram levantados a partir de entrevistas com gestores e operadores; o sistema foi desenvolvido com a stack tecnológica Python/Streamlit (módulo web) e Flutter/Firebase (módulo mobile); os indicadores de desempenho foram definidos e implementados; e o MVP foi validado em ambiente simulado com dados reais de produção ao longo de uma semana de teste.

Os resultados obtidos na fase de prototipação evidenciam dois achados de especial relevância. O primeiro é o efeito de subregistro sistemático dos problemas de qualidade e produtividade nos métodos informais de gestão: a taxa de retrabalho real (8,4%) mostrou-se mais que o dobro da estimativa informal dos gestores (3-4%), e o tempo de reação a eventos de parada revelou-se cerca de 15 vezes superior ao estimado. O segundo é a viabilidade técnica e econômica da solução proposta: o ProduTrack pode ser operado sem custos de licença de software, com treinamento de usuários em menos de 30 minutos, e proporciona ao gestor uma visibilidade em tempo real que não seria possível obter com os métodos manuais atualmente em uso.

As principais limitações deste trabalho residem no caráter simulado e de curto prazo da validação realizada. A mensuração precisa do impacto do sistema sobre a produtividade e a rentabilidade das usinagens requer uma implementação de longo prazo em ambiente real, com acompanhamento de indicadores antes e depois da adoção, o que constitui a principal recomendação para trabalhos futuros. Sugere-se ainda, como continuidade desta pesquisa: a integração do ProduTrack com leitores de código de barras ou QR Code para automatizar o início e o fim das operações; o desenvolvimento de um módulo de qualidade com registro de medições dimensionais; a incorporação de modelos de aprendizado de máquina para predição de falhas; e a realização de um estudo de caso longitudinal com implementação real em ao menos três usinagens de diferentes perfis.

Conclui-se que o ProduTrack representa uma contribuição relevante para o campo da manufatura digital aplicada a pequenas e médias empresas, demonstrando que é possível desenvolver sistemas de gestão da produção funcionais, usáveis e economicamente acessíveis com as tecnologias disponíveis atualmente.

REFERÊNCIAS

ANSI/ISA. **ANSI/ISA-95.00.01-2010 (IEC 62264-1 Mod)**: Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology. Research Triangle Park: ISA, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Sondagem Especial**: Indústria 4.0 nas pequenas e médias empresas. Brasília: CNI, 2021. Disponível em: <<https://www.cni.org.br>>. Acesso em: mar. 2026.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FIREBASE. **Firestore Documentation**: Firestore, Authentication and Realtime Database. Google LLC, 2024. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs>>. Acesso em: abr. 2026.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da manufatura moderna**: materiais, processos e sistemas. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 49., 2016, Kauai. **Proceedings [...]**. Kauai: IEEE, 2016. p. 3928–3937.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Industrial Anual (PIA-Empresa) 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: mar. 2026.

ISO. **ISO 9000:2015**: Quality management systems — Fundamentals and vocabulary. Geneva: ISO, 2015.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: Acatech, 2013.

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. **Manufacturing Engineering and Technology**. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014.

LUTZ, Mark. **Learning Python**. 5. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Portland: Productivity Press, 1988.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. (Original: 1988).

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. **Sistemas, organização e métodos**: uma abordagem gerencial. 20. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software**: uma abordagem profissional. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003. (Original: 1998).

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

SEBRAE. **Painel Regional de Indicadores das MPE** — Indústria de Transformação. Brasília: SEBRAE, 2022. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: mar. 2026.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

STREAMLIT. **Streamlit Documentation**: Build and share data apps. 2024. Disponível em: <<https://docs.streamlit.io>>. Acesso em: abr. 2026.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

APÊNDICE A — ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Pesquisa: Sistema Digital de Gestão da Produção para Pequenas Indústrias de Usinagem

Perfil do entrevistado: () Gestor/proprietário () Supervisor de produção () Operador de máquina

BLOCO 1 — Gestão atual da produção

- Como é feito atualmente o controle das ordens de produção? Existe algum sistema ou software?
- Como o gestor sabe, a qualquer momento, quantas peças foram produzidas e quantas faltam?
- Como são registradas e acompanhadas as paradas de máquina?
- Como são identificadas e registradas as peças que precisam de retrabalho ou que vão para o refugo?

BLOCO 2 — Rastreabilidade e qualidade

- Se um cliente reclamar de uma peça defeituosa, é possível identificar em qual máquina foi produzida e por qual operador? Como?
- Existe registro histórico das operações realizadas em cada peça?

BLOCO 3 — Indicadores e tomada de decisão

- Quais indicadores de produção são acompanhados atualmente? Com que frequência?
- Com base em quais informações são tomadas as decisões de reprogramação ou priorização de ordens?

BLOCO 4 — Expectativas em relação a um sistema digital

- Quais problemas da gestão atual um sistema digital deveria resolver prioritariamente?

- Quais são as principais preocupações em relação à adoção de um sistema desse tipo?
- Qual seria o tempo máximo aceitável de treinamento para que operadores utilizem o sistema no chão de fábrica?

APÊNDICE B — QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE SATISFAÇÃO DO USUÁRIO

Perfil: () Gestor () Operador Data: ____/____/____

Avalie as afirmações abaixo em uma escala de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente):

Quadro B.1 — Questionário de satisfação do sistema ProduTrack

Afirmação	1	2	3	4	5
A interface do sistema é fácil de entender e utilizar					
O sistema me fornece informações que eu precisava e não tinha antes					
O tempo necessário para registrar uma operação é aceitável					
O sistema é útil para o meu trabalho diário					
Eu recomendaria este sistema para outras empresas de usinagem					
O sistema apresentou erros ou travamentos durante o uso					

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota geral (0 a 10): _____

Sugestões de melhoria:
