

PROPOSTA DE INTERFACE PARA DESENVOLVIMENTO DE UM GÊMEO DIGITAL INTEGRADO PARA APOIO À MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Adilson Arantes Reis Junior
Graduando em Automação Industrial
E-mail: adilson.reis@fatec.sp.gov

Rodrigo Augusto de Oliveira
Graduando em Automação Industrial
E-mail: rodrigo.oliveira176@fatec.sp.gov.br

Marcos Daniel Gomes de Castro
Engenheiro de Produção. Mestre em Engenharia de Produção
Docente na Fatec Bauru
E-mail: marco.castro@cps.sp.gov.br

RESUMO

A manutenção industrial é fundamental para garantir a disponibilidade, confiabilidade e eficiência dos equipamentos produtivos. Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma plataforma web para apoiar o gerenciamento das atividades de manutenção de uma máquina enchedora de latas, com base nos conceitos de digitalização industrial e Gêmeo Digital. A pesquisa foi realizada por meio da análise dos métodos convencionais utilizados pelo setor de manutenção, identificando limitações relacionadas à descentralização das informações e à dificuldade de acesso aos dados técnicos. Como solução, foi desenvolvida uma plataforma digital capaz de centralizar informações técnicas, históricos de manutenção, registros operacionais e documentações em um ambiente integrado. Os resultados demonstraram melhorias na organização, disponibilidade e rastreabilidade das informações, além de maior agilidade na consulta de dados e suporte à tomada de decisão. Conclui-se que a solução proposta atingiu os objetivos estabelecidos, apresentando-se como uma ferramenta funcional e alinhada aos princípios da Indústria 4.0, além de constituir uma base para futuras aplicações envolvendo integração de dados, manutenção preditiva e Gêmeo Digital.

Palavras-chave: Manutenção Industrial; Indústria 4.0; Gêmeo Digital; Plataforma Web.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial constitui um dos pilares estratégicos da gestão da produção, sendo diretamente responsável pela garantia da disponibilidade, confiabilidade e segurança dos ativos físicos envolvidos nos processos produtivos. Segundo Kardec e Nascif (2019), a manutenção moderna deixou de ser vista apenas como uma atividade corretiva, passando a desempenhar papel fundamental

na competitividade e sustentabilidade das organizações.

Em contextos industriais altamente competitivos, como o setor de bebidas, caracterizado por operações contínuas, elevados volumes de produção e rigorosos padrões de qualidade, a eficiência da manutenção torna-se fator crítico para o desempenho organizacional. Nesse cenário, conceitos como manutenção preventiva, preditiva e baseada em confiabilidade (Reliability Centered Maintenance – RCM) ganham relevância, pois visam não apenas corrigir falhas, mas antecipá-las e otimizar o ciclo de vida dos equipamentos (MOUBRAY, 1997).

A indisponibilidade de ativos produtivos, ainda que por curtos períodos, pode gerar impactos significativos, como perdas financeiras, desperdício de matéria-prima, atrasos logísticos e comprometimento de indicadores-chave de desempenho (KPIs), como o Overall Equipment Effectiveness (OEE). De acordo com Nakajima (1988), o OEE é um dos principais indicadores utilizados para avaliar a eficiência global dos equipamentos e identificar oportunidades de melhoria nos processos produtivos.

Um dos principais desafios enfrentados pelas equipes de manutenção está relacionado ao acesso rápido e confiável às informações técnicas dos equipamentos, incluindo identificação de componentes, códigos de peças, históricos de intervenções e procedimentos operacionais padronizados. Em muitas organizações, esses dados ainda são gerenciados por meio de planilhas eletrônicas ou consultas manuais a sistemas e almoxarifados, o que torna o processo moroso, descentralizado e suscetível a falhas humanas. Conforme Kardec e Nascif (2019), a gestão eficiente das informações de manutenção é essencial para reduzir o tempo de resposta e aumentar a confiabilidade operacional.

Diante desse contexto, a transformação digital na indústria, impulsionada pelos princípios da Indústria 4.0, introduz novas possibilidades para a gestão da manutenção, destacando-se o uso de tecnologias como digital twins (gêmeos digitais), realidade aumentada e virtualização de ativos industriais. Segundo Schwab (2016), a Quarta Revolução Industrial promove a integração entre sistemas físicos e digitais, permitindo maior conectividade, rastreabilidade e eficiência dos processos produtivos.

A virtualização de máquinas consiste na criação de representações digitais interativas dos equipamentos físicos, permitindo a integração de dados técnicos, operacionais e históricos em um único ambiente acessível, intuitivo e dinâmico. Essa abordagem favorece não apenas a agilidade na tomada de decisão, mas também a padronização de processos, a redução de erros e o aprimoramento da capacitação técnica das equipes. De acordo com Tao et al. (2018), os gêmeos digitais representam uma das principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, possibilitando monitoramento, análise e suporte às operações industriais em tempo real.

Nesse contexto, o presente projeto culminou no desenvolvimento de um escopo funcional de simulação em ambiente web para a criação de uma máquina virtual da enchedora de latas utilizada na unidade de uma cervejaria. A solução concebida integra, em uma plataforma digital interativa, informações críticas para a gestão da manutenção, incluindo a visualização detalhada dos componentes do equipamento, acesso estruturado aos códigos de materiais, consulta ao histórico de substituições e apoio ao planejamento de intervenções.

A simulação desenvolvida permite a representação virtual do ativo físico, favorecendo a navegação intuitiva entre seus subsistemas e a centralização de dados técnicos e operacionais, reduzindo significativamente a dependência de controles manuais e consultas descentralizadas. Como resultado, observa-se potencial para diminuição do tempo de indisponibilidade dos equipamentos, maior assertividade nas atividades de manutenção e melhoria na tomada de decisão.

Além disso, a solução contribui para o avanço dos processos de manutenção em direção a um modelo mais digital, integrado e orientado por dados, alinhado aos princípios da Indústria 4.0. Destaca-se, ainda, seu papel como ferramenta de apoio à capacitação técnica, ao permitir que colaboradores compreendam o funcionamento do equipamento de forma mais clara, segura e acessível, mesmo fora do ambiente físico de operação.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Manutenção industrial

A manutenção industrial constitui um dos pilares fundamentais da gestão de ativos físicos, sendo responsável por garantir a disponibilidade, confiabilidade e segurança dos equipamentos ao longo de seu ciclo de vida. De acordo com John Moubray (1997), a manutenção deve assegurar que os ativos continuem desempenhando suas funções requeridas dentro dos padrões de desempenho estabelecidos, considerando aspectos técnicos, operacionais e de risco. Essa abordagem amplia a visão tradicional da manutenção, que antes era predominantemente corretiva, para uma perspectiva mais estratégica e orientada à confiabilidade. Nesse contexto, a manutenção passa a impactar diretamente a competitividade das organizações industriais. Conforme Terry Wireman (2004), práticas eficientes de manutenção contribuem significativamente para a redução de custos operacionais, aumento da produtividade e melhoria da qualidade dos produtos. Assim, a gestão da manutenção deixa de ser apenas uma função de suporte e assume papel essencial na obtenção de vantagem competitiva.

As estratégias de manutenção podem ser classificadas em diferentes abordagens. A manutenção corretiva ocorre após a falha do equipamento, sendo geralmente associada a maiores custos e impactos na produção. A manutenção preventiva, por sua vez, baseia-se em intervenções programadas com o objetivo de reduzir a probabilidade de falhas. Já a manutenção preditiva utiliza técnicas de monitoramento de condição, permitindo identificar anomalias antes que resultem em falhas funcionais. Complementarmente, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MMC) propõe a definição das melhores políticas de manutenção com base na criticidade dos ativos e nos modos de falha, conforme destacado por Moubray (1997).

Outro conceito relevante é a Manutenção Produtiva Total (TPM), desenvolvida por Seiichi Nakajima (1988), que enfatiza o envolvimento de todos os colaboradores na conservação dos equipamentos, promovendo uma cultura de melhoria contínua e responsabilidade compartilhada. O TPM está diretamente relacionado à maximização da eficiência global dos equipamentos, medida pelo

indicador Overall Equipment Effectiveness - OEE, que integra disponibilidade, desempenho e qualidade.

Com o avanço da transformação digital, a manutenção industrial tem evoluído para um modelo mais inteligente e integrado, alinhado aos princípios da Indústria 4.0. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos e gêmeos digitais (*digital twins*) permitem o monitoramento em tempo real, a análise preditiva e a integração de dados em plataformas digitais. Nesse cenário, a virtualização de ativos industriais emerge como uma ferramenta inovadora, possibilitando a criação de representações digitais interativas dos equipamentos, nas quais é possível acessar informações técnicas, históricos de manutenção e dados operacionais de forma centralizada.

Essa abordagem está diretamente relacionada ao desenvolvimento deste projeto, que utiliza a simulação em ambiente *web* como meio para implementar uma máquina virtual da enchedora de latas, contribuindo para a digitalização dos processos de manutenção. Dessa forma, a integração entre conceitos tradicionais de manutenção e tecnologias digitais potencializa a eficiência operacional, reduz o tempo de resposta às falhas e promove uma gestão mais assertiva e orientada por dados.

2.2 Digitalização e Indústria 4.0

A digitalização tem promovido transformações significativas nos sistemas produtivos, redefinindo a forma como as organizações industriais operam, monitoram e gerenciam seus processos. Nesse contexto, emerge o conceito de Indústria 4.0, caracterizado pela integração entre tecnologias digitais, sistemas físicos e análise avançada de dados, possibilitando maior autonomia, flexibilidade e eficiência operacional. Segundo Klaus Schwab (2016), a Quarta Revolução Industrial representa uma convergência entre os mundos físico, digital e biológico, impactando profundamente os modelos de produção e gestão.

A Indústria 4.0 baseia-se em pilares tecnológicos como IoT, sistemas ciberfísicos, computação em nuvem, *big data* e inteligência artificial. De acordo com Acatech (2013), esses elementos permitem a criação de fábricas inteligentes (*smart factories*), nas quais máquinas, sistemas e produtos se comunicam de forma integrada e em tempo real, promovendo maior capacidade de adaptação às demandas do mercado e otimização dos processos produtivos.

No âmbito da manutenção industrial, a digitalização possibilita a transição de modelos reativos para abordagens preditivas e prescritivas. Conforme destacado por Jay Lee et al. (2015), a utilização de dados em tempo real e algoritmos avançados permite antecipar falhas, reduzir paradas não planejadas e aumentar a confiabilidade dos ativos. Esse novo paradigma, frequentemente denominado Manutenção 4.0, está fundamentado na integração de dados operacionais, históricos e contextuais, viabilizando uma gestão mais precisa e orientada por evidências.

Outro conceito central nesse contexto é o de gêmeos digitais (*digital twins*), uma tecnologia associada à Indústria 4.0 que permite a criação de representações digitais de ativos físicos. Essa abordagem possibilita a integração de informações operacionais e técnicas em ambientes virtuais, contribuindo para o monitoramento,

análise e otimização dos processos industriais. Uma discussão mais detalhada sobre os conceitos de modelos virtuais e digital twins é apresentada na Seção 2.3.

Além disso, a digitalização contribui para a democratização do acesso à informação dentro das organizações, reduzindo a dependência de registros manuais e promovendo maior transparência e padronização dos processos. Ferramentas digitais interativas, como plataformas de simulação em ambiente web, permitem que usuários visualizem equipamentos, acessem dados técnicos e realizem análises de forma intuitiva, independentemente de sua localização física.

Nesse sentido, a aplicação dos conceitos de Indústria 4.0 no presente projeto evidencia-se por meio do desenvolvimento de uma simulação web para a máquina virtual da enchedora de latas. Essa solução incorpora princípios de virtualização e integração de dados, permitindo a centralização de informações relevantes para a manutenção em um ambiente digital acessível e interativo. Como resultado, observa-se potencial para melhoria da eficiência operacional, redução de falhas e maior agilidade na tomada de decisão.

Dessa forma, a digitalização e a Indústria 4.0 não apenas transformam os processos produtivos, mas também redefinem o papel da manutenção industrial, tornando-a mais estratégica, preditiva e integrada aos sistemas inteligentes de produção.

2.3 Modelos Virtuais e *Digital Twin*

A crescente digitalização dos sistemas industriais tem impulsionado o desenvolvimento de modelos virtuais como ferramentas estratégicas para análise, simulação e otimização de processos produtivos. Os modelos virtuais consistem em representações digitais de ativos físicos, processos ou sistemas, permitindo a visualização estruturada de seus componentes, interações e comportamentos em um ambiente computacional. Esses modelos podem variar desde representações estáticas, voltadas à visualização e organização de informações, até simulações dinâmicas capazes de reproduzir o funcionamento real dos equipamentos em diferentes condições operacionais.

Nesse contexto, destaca-se o conceito de *Digital Twin* (gêmeo digital), que representa uma evolução dos modelos virtuais tradicionais. De acordo com Michael Grieves (2014), o gêmeo digital consiste em uma réplica virtual de um ativo físico, conectada a ele por meio de fluxos contínuos de dados, possibilitando monitoramento em tempo real, simulação de cenários e suporte à tomada de decisão. Essa integração entre o mundo físico e o digital permite não apenas representar o estado atual do equipamento, mas também prever comportamentos futuros e otimizar seu desempenho ao longo do ciclo de vida.

Complementarmente, Fei Tao et al. (2018) destacam que os *digital twins* são compostos por três elementos principais: o ativo físico, o modelo virtual e o sistema de dados que conecta ambos. Essa estrutura possibilita a criação de um ambiente integrado no qual informações operacionais, históricos de manutenção e parâmetros de desempenho são continuamente atualizados e analisados, favorecendo a tomada de decisão baseada em dados.

Os modelos virtuais, mesmo quando não totalmente integrados em tempo real como os *digital twins*, já oferecem benefícios significativos para a gestão

industrial. Entre esses benefícios, destacam-se a melhoria na compreensão dos sistemas, a padronização de informações técnicas, a redução de erros operacionais e o apoio à capacitação de equipes. Além disso, permitem a simulação de intervenções e a validação de estratégias antes de sua aplicação no ambiente físico, reduzindo riscos e custos associados.

No contexto da manutenção industrial, a utilização de modelos virtuais e *digital twins* contribui para a evolução de práticas tradicionais para abordagens mais preditivas e inteligentes. A possibilidade de visualizar componentes, acessar dados históricos e simular falhas potenciais permite maior assertividade nas decisões de manutenção, além de reduzir o tempo de resposta a problemas operacionais.

No presente projeto, a aplicação desses conceitos materializa-se por meio do desenvolvimento de um escopo de simulação em ambiente web para a criação de uma máquina virtual da enchedora de latas. Embora a solução proposta não configure um *digital twin* completo, por não estar integrada em tempo real ao ativo físico, ela se aproxima desse conceito ao oferecer uma representação digital estruturada do equipamento, com acesso a informações relevantes para a manutenção e operação. Dessa forma, a ferramenta desenvolvida pode ser compreendida como um modelo virtual avançado, com potencial de evolução futura para um sistema mais integrado e dinâmico. Assim, os modelos virtuais e os *digital twins* representam uma importante tendência na Indústria 4.0, contribuindo para a digitalização dos processos industriais, aumento da eficiência operacional e fortalecimento da tomada de decisão baseada em dados.

2.4 Gestão de Componentes e Almoxarifado Digital

A gestão de componentes e materiais de manutenção é um fator crítico para a eficiência operacional em ambientes industriais, especialmente em setores de alta complexidade e produção contínua. O almoxarifado, tradicionalmente responsável pelo armazenamento, controle e distribuição de peças e insumos, assume papel estratégico na garantia da disponibilidade de itens essenciais para intervenções de manutenção. Segundo Terry Wireman (2004), a indisponibilidade de peças ou falhas no controle de estoque podem resultar em atrasos significativos, aumento do tempo de parada e elevação dos custos operacionais.

Historicamente, a gestão de almoxarifado foi baseada em registros manuais ou planilhas eletrônicas, o que torna o processo suscetível a inconsistências, erros humanos e dificuldades de rastreabilidade. Nesse modelo, a localização de componentes, a identificação de códigos de materiais e a verificação de históricos de consumo dependem de consultas descentralizadas, muitas vezes demoradas e pouco confiáveis. Conforme destacam Slack et al. (2010), a falta de integração entre os sistemas de estoque e os processos produtivos compromete a eficiência logística e a tomada de decisão.

Com o avanço da digitalização, surge o conceito de almoxarifado digital, que consiste na utilização de sistemas informatizados e integrados para o gerenciamento de estoques, permitindo maior controle, rastreabilidade e agilidade no acesso às informações. De acordo com Corrêa e Corrêa (2012), a digitalização dos processos logísticos possibilita a integração entre diferentes áreas da organização, promovendo maior visibilidade dos fluxos de materiais e suporte à

tomada de decisão em tempo real.

Nesse contexto, tecnologias como códigos de barras, RFID (Radio Frequency Identification), sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) e plataformas digitais interativas contribuem para a modernização da gestão de componentes. Essas ferramentas permitem o registro automatizado de entradas e saídas, o monitoramento de níveis de estoque e a vinculação de materiais a equipamentos específicos, facilitando o planejamento de manutenção e reduzindo o risco de indisponibilidade de peças críticas.

A integração entre a gestão de almoxarifado e os sistemas de manutenção é um dos principais avanços proporcionados pela Indústria 4.0. Essa integração possibilita que informações sobre componentes, como códigos, especificações técnicas e históricos de substituição, estejam diretamente associadas aos ativos industriais, promovendo maior eficiência e assertividade nas intervenções. Além disso, contribui para a padronização dos processos e redução de erros operacionais.

No contexto do presente projeto, a proposta de uma máquina virtual em ambiente web incorpora elementos de um almoxarifado digital ao permitir o acesso estruturado aos códigos de materiais e à visualização dos componentes diretamente no modelo virtual do equipamento. Essa abordagem reduz a necessidade de consultas manuais e descentralizadas, centralizando informações relevantes em uma única plataforma digital. Como resultado, há potencial para maior agilidade na identificação de peças, melhoria no planejamento de intervenções e redução do tempo de parada dos equipamentos.

Dessa forma, a gestão digital de componentes e almoxarifado representa um avanço significativo na modernização dos processos industriais, contribuindo para a eficiência operacional, a confiabilidade dos sistemas produtivos e a integração entre manutenção e logística.

2.5 Enchedoras de Latas e Softwares e Plataformas Interativas

As enchedoras de latas constituem equipamentos essenciais na indústria de bebidas, sendo responsáveis por etapas críticas do processo produtivo, como dosagem, envase e, em muitos casos, integração com sistemas de selagem e inspeção. Esses equipamentos operam em linhas de alta velocidade e exigem elevados níveis de precisão, sincronização e confiabilidade, uma vez que qualquer falha pode impactar diretamente a qualidade do produto, a segurança alimentar e a eficiência operacional da planta.

De acordo com Krones AG, sistemas de envase modernos são projetados para operar de forma contínua, com alta automação e integração com outros módulos da linha de produção, como transportadores, pasteurizadores e sistemas de inspeção. Nesse contexto, a manutenção desses equipamentos torna-se particularmente desafiadora, exigindo acesso rápido a informações técnicas, identificação precisa de componentes e conhecimento detalhado do funcionamento dos subsistemas envolvidos. As enchedoras de latas são compostas por diversos sistemas interdependentes, incluindo válvulas de enchimento, sistemas de controle de pressão, sensores, atuadores e unidades de controle lógico programável (CLPs). Conforme destacam Rockwell Automation e Siemens, a integração entre hardware

e software é fundamental para garantir o desempenho e a estabilidade desses equipamentos, especialmente em ambientes industriais que demandam alta produtividade e rastreabilidade.

Nesse cenário, os softwares e plataformas interativas emergem como ferramentas fundamentais para apoiar a operação e a manutenção de sistemas industriais complexos. Essas plataformas permitem a visualização digital dos equipamentos, a integração de dados operacionais e o acesso a informações técnicas em tempo real ou sob demanda. Além disso, possibilitam a criação de interfaces intuitivas que facilitam a navegação entre componentes, a consulta a manuais e a análise de históricos de manutenção.

Segundo Ben Shneiderman (2010), interfaces interativas bem projetadas contribuem para a melhoria da usabilidade dos sistemas, reduzindo erros operacionais e aumentando a eficiência dos usuários. No contexto industrial, isso se traduz em maior agilidade na identificação de problemas, melhor compreensão dos equipamentos e suporte mais eficaz à tomada de decisão.

A utilização de plataformas digitais baseadas em ambiente web tem se destacado devido à sua acessibilidade, flexibilidade e facilidade de integração. Essas soluções permitem que usuários acessem informações de qualquer local, utilizando diferentes dispositivos, sem a necessidade de instalação de softwares específicos. Além disso, favorecem a atualização centralizada de dados e a padronização das informações disponibilizadas. A integração entre equipamentos industriais complexos, como as enchedoras de latas, e plataformas digitais interativas representa um avanço significativo na direção de sistemas produtivos mais inteligentes, conectados e alinhados aos princípios da Indústria 4.0.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, desenvolvida com o propósito de propor uma solução prática para auxiliar o gerenciamento das atividades de manutenção industrial por meio da criação de uma plataforma web voltada ao desenvolvimento de um Gêmeo Digital para máquinas enchedoras de latas. Inicialmente, foram analisados os processos utilizados pelo setor de manutenção, identificando-se limitações relacionadas ao controle manual de informações, ao uso de planilhas eletrônicas e à consulta de catálogos técnicos físicos e digitais, fatores que dificultam o acesso rápido às informações e a rastreabilidade das intervenções realizadas nos equipamentos.

Com base nesse diagnóstico, foi desenvolvida uma plataforma web destinada à centralização de informações técnicas, históricos de manutenção, registros operacionais e documentações da máquina em um ambiente digital único. O sistema foi projetado para apoiar as atividades de manutenção preventiva e corretiva, proporcionando maior organização das informações e agilidade na consulta de dados relevantes para a tomada de decisão. Além disso, a plataforma pode ser acessada por meio de navegadores web, dispensando a necessidade de instalação local e oferecendo maior flexibilidade operacional aos usuários.

Para o desenvolvimento do projeto, foram utilizados recursos computacionais, softwares de programação e ferramentas de desenvolvimento web, incluindo linguagens de programação, banco de dados, ambiente de

desenvolvimento integrado (IDE), navegador para testes da aplicação e documentação técnica da máquina estudada. Esses recursos possibilitaram a modelagem, implementação e validação da plataforma, permitindo a construção de uma interface funcional alinhada aos conceitos de digitalização industrial, virtualização de ativos e Indústria 4.0, conforme mostra o quadro 1.

Quadro 1- Materiais utilizados para desenvolvimento da interface

Materiais	Descrição
a) Computador para desenvolvimento do sistema	Utilizado para programação e testes do sistema.
b) Plataforma de desenvolvimento web	Ambiente utilizado para criação do sistema.
c) HTML, CSS e JavaScript	Linguagens utilizadas no desenvolvimento do sistema.
d) Visual Studio Code	Editor utilizado para criação do código-fonte.
e) Banco de dados	Responsável pelo armazenamento das informações.
f) Navegadores web	Utilizados para testes e validações do sistema.
g) Máquina enchedora	Equipamento analisado durante o projeto.
h) Catálogos técnicos	Utilizados para consulta de peças e códigos.
i) Registros de manutenção	Informações utilizadas para análise dos processos.
j) Planilhas de controle	Utilizadas pelo setor de manutenção.
k) Documentações técnicas	Materiais de apoio relacionados ao equipamento.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA MÁQUINA ENCHEDORA

A máquina enchedora (fig.1) é um dos principais equipamentos da linha de produção industrial, sendo responsável pelo enchimento automatizado das embalagens durante o processo produtivo. Por se tratar de um equipamento essencial para o funcionamento da linha, qualquer falha ou parada não programada pode gerar impactos significativos na produtividade, no cumprimento das metas de produção e nos custos operacionais da empresa. Dessa forma, torna-se indispensável o constante acompanhamento por parte do setor de manutenção, buscando garantir maior confiabilidade operacional, reduzir o tempo de máquina parada e assegurar a continuidade do processo produtivo de forma eficiente e segura.

Atualmente, grande parte das informações relacionadas às atividades de manutenção ainda é registrada de maneira convencional, por meio de planilhas, anotações manuais, registros físicos e consultas em catálogos técnicos digitais ou impressos. Embora esses métodos sejam amplamente utilizados, eles podem dificultar a organização e a rastreabilidade das informações, além de aumentar o tempo necessário para localização de peças, identificação de componentes e execução das atividades corretivas e preventivas. Além disso, a descentralização dos dados pode ocasionar falhas de comunicação, retrabalho e até mesmo perda de informações importantes para o histórico de manutenção do equipamento.

Diante desse cenário, identificou-se a necessidade do desenvolvimento de uma plataforma centralizada capaz de armazenar, organizar e disponibilizar de

forma rápida e eficiente as informações técnicas e operacionais da máquina enchedora.

Figura 1 – Enchedora Sidel EvoFILL Can



Fonte: Sidel (2026). Nota: Maquinário industrial automatizado para envase de bebidas em latas de alumínio.

4.1.1 Sistema convencional de abertura de notas de manutenção

A figura 02 apresenta o sistema atualmente utilizado para abertura manual de notas de manutenção na empresa. A plataforma é utilizada para registrar falhas, localizar equipamentos e direcionar solicitações ao setor responsável pela manutenção.

Nesse modelo, o operador ou mantenedor realiza o preenchimento manual das informações do equipamento, descrição da falha e localização da ocorrência. Embora o sistema permita o registro das informações, o processo ainda exige elevado preenchimento manual e consultas paralelas, podendo aumentar o tempo de resposta e dificultar a centralização das informações técnicas.

Figura 2 – Tela do sistema SAP para abertura de nota PM

The screenshot displays the SAP interface for creating a PM note. At the top, the header bar shows the company logo 'ABInBev' and the title 'Criar nota PM: Emergencial'. Below the header, there is a navigation bar with buttons: 'Menu', 'Voltar', 'Exibir objeto', 'Pôr em processamento', 'Adiar', 'Encerrar...', 'Parceiros', 'Parceiro', 'Endereço...', 'Paginação/comunicação', and 'Finalizar'. The main form area contains several input fields and buttons. The 'Nota' field is set to '%000000000001' with a 'Z1' dropdown. The 'Status da nota' is 'MSPN' and the 'Ordem' is 'TRTM'. Below these, there are tabs for 'Nota', 'Dados da Avaria', 'Location', and a search icon with '5 Porquês?'. The 'Objeto de referência' section has fields for 'Loc. instalação:', 'Equipamento:', and 'Conjunto:'. The 'Situação' section has fields for 'Codificação:' and 'Descrição:'. The 'Responsabilidades' section has fields for 'Grupo planej.:' and 'CenTrabPrinc.:'. At the bottom right, there are 'Gravar' and 'Cancelar' buttons.

Fonte: ABInBev (2026).

Nota: Interface digital de software ERP utilizada para abertura e registro de ordens de manutenção emergencial.

4.1.2 Planilha convencional de controle de peças e estoque

A Figura 03 apresenta uma planilha utilizada para o controle manual de peças e componentes do setor de manutenção industrial. O documento reúne informações como códigos de identificação, descrição dos componentes, quantidade disponível em estoque e status de reposição, auxiliando o acompanhamento das atividades de manutenção da máquina enchedora.

Apesar de sua ampla utilização, esse método depende de atualizações manuais, o que pode ocasionar erros de preenchimento, inconsistências nos registros e dificuldades na localização de informações. Além disso, a dispersão dos dados em diferentes planilhas dificulta a rastreabilidade das peças e o acompanhamento histórico das intervenções realizadas. Diante desse cenário, evidencia-se a necessidade de uma plataforma centralizada capaz de integrar informações técnicas e operacionais em um único ambiente digital, proporcionando maior controle, rastreabilidade e eficiência na gestão da manutenção e do estoque.

Figura 3 – Planilha eletrônica de controle de estoque e custos de manutenção.

Material	Texto breve	Vtotal	Quantidade	Preço unitário	Descrição completa
50502926	3ZE0 LUBR.BEICHEM/BERUSYNTH1000H1440ML	644,05	4	161,01	O-RING;23,3 X 2,4 TONBR/P/ MARPOSA COMPLETA,DA LLENADORA INNOFIL KHS;;102401.2250 KHS S/A INDUSTRIAS DE MAQUINAS
50071881	50002489 ANEL O;23.30X2,40MM;NBR;70 SHA	0,00	0		CILINDRO...DA PALETIZADOR.SIDE.LINEAR..PA3019 SIDE LINE E COM LTDA
50079147	50088668 - LETIZAD.SIDE LINEAR.PA3019	0,00	0		CORREA-SINCRONIZADA/P/ CHAPA DE ABERTURA-DA PALETIZADORA KHS S1-B54-3P/ 272 ANO 1995;;301114153741 KHS S/A INDUSTRIAS DE MAQUINAS;BM 50 - Steel HTD 16.000x50mm MELTING
50117100	50279938 -ACRONIZADA/P/ CHAPA DE ABERTUR	0,00	0		CORREA-SINCRONIZADA/P/ CHAPA DE ABERTURA-DA PALETIZADORA KHS S1-B54-2P/272 ANO 1995;;301114153741 KHS S/A INDUSTRIAS DE MAQUINAS;BM 50 - Steel HTD 16.000x50mm MELTING
50001817	ABA-XO/S/2803302981014	575,14	328	1,75	SOLAPA CIERRE CONICA C/ESTRECH;SX11,6/P/ BOQUILA RELENAR,DA LLENADORA KHS DELTA FSVFG;;INT-006 INTERPLAST INDUSTRIA COMERCIO;2803302981/034 KHS S/A INDUSTRIAS DE MAQUIN
50002647	ABRACADEIRA AMARR CAB/NAT/COMP 150MM	426,06	3302	0,13	ABRACADERA AMARRACION CABLE;YLOX/COMP 151 MM;LARG 3,6 MM;ESP 1,1 MM;;INSULOK T30R HELLERMANN DO BRASIL
50004358	ABRACADEIRA REG-13-19MM;14MM;C/PARAF	133,42	15	8,89	ABRACADERA REGULABLE;13-19 MM;LARG 14 MM;SCERO INOX/C/ TORNILLO;;ABSL14110990 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS
50092703	ABRACADEIRA REG-13-19MM;C/PARAF AC CARB	95,11	34	2,80	ABRACADERA REGULABLE;13-19 MM;LARG 14 MM;SAE1020 ZINCADO/C/ TORNILLO;;ABSL14180190 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS
50125516	ABRACADEIRA REG-13-27MM;14,50MM	38,97	24	1,62	ABRACADERA REGULABLE;16-27 MM;LARG 14,5 MM;SAE 1020 ZINCADO/C/ TORNILLO;;FAB187 METALURGICA SUPRENS LTDA
50006366	ABRACADEIRA REG-19-27MM;14,50MM;ASIS 304	353,39	14	25,24	ABRACADERA REGULABLE;19-27 MM;LARG 14,5 MM;ASIS304/C/ TORNILLO;;FIF1927 METALURGICA SUPRENS LTDA
50004394	ABRACADEIRA REG-19-27MM;14MM;C/PARAF	607,23	22	27,60	ABRACADERA REGULABLE;19-27 MM;LARG 14 MM;ASIS304/C/ TORNILLO;;ABSL14170270 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS
50234817	ABRACADEIRA REG-23-33MM;14MM;ASIS 304	27,33	1	27,33	ABRACADERA DA ROTULADORA;KHS KL 2040/105-35;301031380590 KHS
50003763	ABRACADEIRA REG-25-38MM;14MM;C/PARAF	0,00	0		ABRACADERA REGULABLE;25-38 MM;LARG 14 MM;SAE 1020 ZINCADO/C/ TORNILLO;;ABSLC1480380 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS
50052268	ABRACADEIRA REG-32-38MM;14,5MM;C/PARAF	1.330,65	112	11,88	ABRACADERA REGULABLE;32-38 MM;LARG 14,5 MM;SAE 1020 ZINCADO/C/ TORNILLO;;ABRLC0940130 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS;ABRLC0980130 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS
50002667	ABRACADEIRA REG-9-13MM;C/PARAF AC CARB	50,03	71	0,70	ABRACADERA REGULABLE;9-13 MM;LARG 9 MM;SAE 1020 GALVANIZADO/C/ TORNILLO;;ABRLC0980130 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS;ABRLC0940130 ABRACATEC ARTEFATOS METAIS
50050075	ABRACADEIRA ALFA LIVAL/9612915403	0,05	1	0,05	ABRACADERA;SOLICIO;2,4 DEGAS;FERMENTACION/MADURACION ALFA LIVAL,BOMBA;;9612915403 ALFA LIVAL
50234818	ABRACADEIRA;KHS/20102335220	71,28	1	71,28	ABRACADERA DA ROTULADORA;KHS KL 2040/105-35;30102335220 KHS
50089396	ABRACADEIRA;KHS/3262905600	386,40	1	386,40	ABRACADERA/P/ FIXACION DE CABLES 06-12MM SZ2350.000 1 JUEGO C/ 25 PIEZAS;;3262905600 KHS;SZ2350.000 RITTAL
50089397	ABRACADERA;KHS/3262905620	384,20	1	384,20	ABRACADERA/P/ FIXACION DE CABLES 014-18MM SZ2352.000 1 JUEGO C/ 25 PIEZAS;;3262905620 KHS;SZ2352.000 RITTAL
50089398	ABRACADERA;KHS/3262905640	476,00	1	476,00	ABRACADERA/P/ FIXACION DE CABLES 022-30MM SZ2354.000 1 JUEGO C/ 25 PIEZAS;;3262905640 KHS;SZ2354.000 RITTAL
50048343	ABSORVEDOR;FLEETWOOD/5030150020	0,00	0	0,00	ABSORVEDOR;DV IMPACTO;DV ALIMENTADOR D/TAMPAS,FLEETWOOD,DUAL LANE;;1503-0150-020 FLEETWOOD
20007266	ACABAMENTO;PROLHM/4609	0,00	0	0,00	ACABAMENTO;ACRILICO HSL PROLHM BOMBONA 5 LIT;;4609 PROLHM PRODUTOS E SERV. LTDA
20007267	ACABAMENTO;PROLHM/4611	0,00	0	0,00	ACABAMENTO;ACRILICO HSL PROLHM BOMBONA 5 LIT;;4611 PROLHM PRODUTOS E SERV. LTDA
50127707	ACCELERADOR P/ADRESIVO;ESPECIAL RSX2300;FR	0,00	0	0,00	ACCELERADOR;P/ADRESIVO;ESPECIAL RSX2300;FR
50089840	ACIDO FOSFORICO 85% BOMBONA	0,00	0	0,00	ACIDO;FOSFORICO;85%;;;PARA ASEPSIA INDUSTRIAL CON GRADO ALIMENTICIO;;AAAAAAAABR AAAAAAAA
50462804	ACIDO SULFURICO;ACIDOSULFURICO1830KG	33.642,23	6405	5,10	ACIDO;SULFURICO;53%;;;AAAAAAAABR AAAAAAAA
50041089	ACIDO NITRICO;53%	11.707,68	2015	5,81	ACIDO;NITRICO;53%;;;AAAAAAAABR AAAAAAAA
50062754	ACIONADOR CAB FIM CURS;SCHNEIDER/ZCKY11	0,00	0		ACIONADOR CABEZAL FIN CURSO;PALANCA C/POLEA;;ZCK-Y11 SCHNEIDER ELECTRIC DO BRASIL
50126991	ACIONADOR GRAXEIRA ANG/RETO;AIS304-1/BN	31,96	1	31,96	
50183366	ACOPLADORHEUT/HBM106358042	0,05	1	0,05	
50079271	ACOPLAMENTO FLEX;12-32MM-R+W/K/260C1919	0,00	0	0,00	ACOPLAMENTO...DA LAVADORA D/BOTELAS,SANMARTIN;;824071 MAQUINAS SAN MARTIN S/A
50178913	ACOPLAMENTO FLEX;162MM;ACRILEX/AE10A	5.367,40	3	1.789,13	ACOPLAMENTO FLEXIBLE;FURO 54,1MM;DIAM EXT 162MM;ALT 141,2MM;;OMEGA E10M REXNORD CORRENTES LTDA
50092785	ACOPLAMENTO FLEX;21,5MM;REXNORD/OMEGA2H	1.515,13	3	505,04	
50002988	ACOPLAMENTO FLEX;FALK/OTTEL/FLEX4F	0,05	1	0,05	ACOPLAMENTO FLEXIBLE;FURO 33MM;DIAM EXT 116MM;ALT 111MM;;STEELFLEX 4F ACOPLAMENTOS FALK
50004356	ACOPLAMENTO HEUT/HBM2950015T	1.886,29	3	628,76	ACOPLAMENTO;HBM2950015T;P/ ENCODER 12MM;DA INSPECTORA BOTELAS HEUT;;HBM2950015T HEUT DO BRASIL LTDA
50008974	ACOPLAMENTO;KHS/28001010671A3	581,16	2	290,58	ACOPLAMENTO...DA LLENADORA KHS DELTA VVF 100/16;;28001010671A3 TIPO 2 KHS
50079115	ACOPLAMENTO;KHS/301035421B1	246,61	1	246,61	ACOPLAMENTO;C/RETENCION;;DO PASTEURIZADOR;KHS,INNOFAS PIBSC 52-255;;301035421B1 KHS S/A INDUSTRIAS DE MAQUINAS

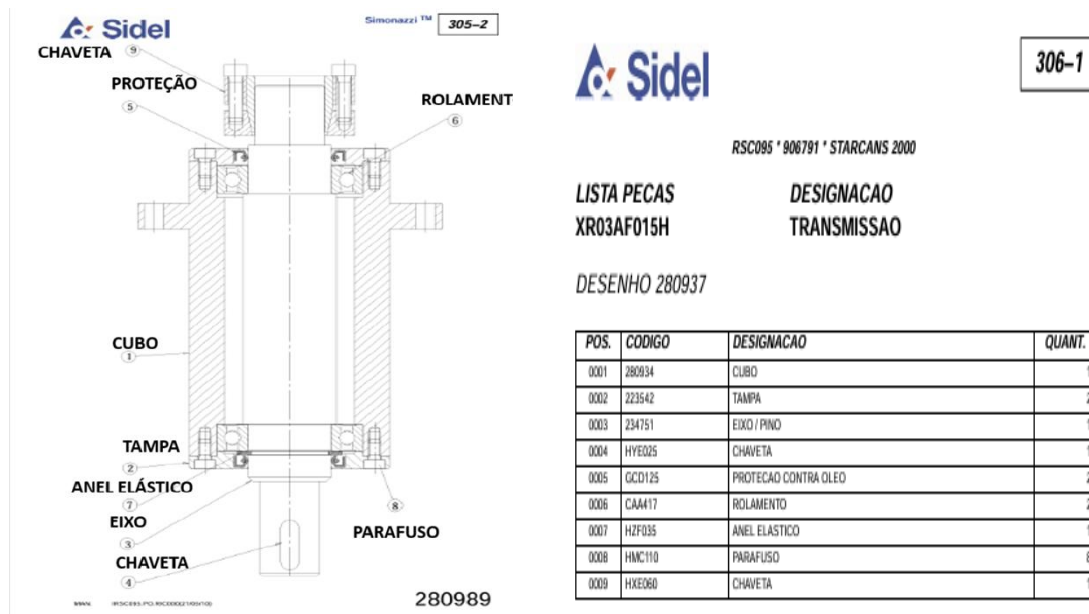
Fonte: ABInBev (2026). **Nota:** Interface do Microsoft Excel utilizada para controle de sobressalentes e preços unitários.

4.1.3 Catálogo técnico de componentes da máquina enchedora

A Figura 04 apresenta uma página do catálogo técnico da máquina enchedora da fabricante Sidel, utilizada como referência pelo setor de manutenção para identificação, desmontagem e solicitação de peças de reposição durante intervenções preventivas e corretivas. O documento contém vistas explodidas dos conjuntos mecânicos, permitindo visualizar a disposição e a relação entre os componentes do equipamento.

Apesar de sua relevância para as atividades de manutenção, o processo de identificação dos componentes pode ser complexo, uma vez que o catálogo apresenta, predominantemente, códigos internos e nomenclaturas técnicas, sem informações complementares sobre dimensões, especificações técnicas, aplicação, material de fabricação, compatibilidade e imagens detalhadas das peças. Além disso, a utilização de códigos específicos do fabricante dificulta a localização rápida dos componentes nos sistemas de estoque e compras da empresa. Dessa forma, a consulta ao catálogo demanda maior tempo de análise por parte dos profissionais de manutenção, evidenciando a necessidade de ferramentas que centralizem e completem essas informações, tornando o processo de identificação e gestão de componentes mais ágil e eficiente.

Figura 4 – Lista de peças do sistema de transmissão Sidel.



Fonte: Sidel (2026). Documentação técnica contendo códigos, designações e quantidades de componentes para manutenção.

5 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O desenvolvimento do sistema foi conduzido de forma estruturada, visando garantir sua viabilidade técnica e atender às necessidades identificadas no setor de manutenção industrial. Inicialmente, realizou-se um levantamento dos processos utilizados na gestão da manutenção da máquina enchedora, identificando limitações relacionadas à descentralização das informações, ao uso de planilhas de controle, à consulta em catálogos técnicos e à dificuldade de rastreamento dos registros de manutenção.

Com base nesse diagnóstico, foi elaborado o planejamento da plataforma, definindo funcionalidades voltadas ao cadastro de equipamentos e componentes, armazenamento de históricos de manutenção, acesso centralizado a informações técnicas, consulta de registros operacionais e gerenciamento de documentos e catálogos técnicos. Essas funcionalidades foram projetadas para centralizar informações e apoiar as atividades de manutenção preventiva e corretiva.

Durante a fase de concepção, foi avaliada a implementação de uma solução mais robusta, com integração de dados, comunicação com equipamentos industriais e monitoramento em tempo real. Contudo, a análise técnica e econômica indicou um custo aproximado de R\$ 3.500,00 para sua implementação, tornando a proposta incompatível com os recursos disponíveis para o desenvolvimento acadêmico. Diante desse cenário, optou-se por uma plataforma web, em razão de sua maior viabilidade econômica e operacional. Entre suas principais vantagens destacam-se o menor custo de desenvolvimento, a possibilidade de acesso por

diferentes dispositivos, a dispensa de instalação local, a facilidade de atualização e a capacidade de expansão futura.

Após a definição da arquitetura da solução, foram desenvolvidas a interface gráfica, a estrutura de armazenamento de dados e as funcionalidades do sistema. Em seguida, realizaram-se testes funcionais para validar os recursos implementados e verificar a usabilidade da plataforma. Embora a solução não contemple, nesta etapa, integração em tempo real com o equipamento físico, sua arquitetura foi projetada para permitir futuras expansões, incluindo a incorporação de sensores industriais, Internet das Coisas (IoT), sistemas supervisórios e funcionalidades associadas ao conceito de Gêmeo Digital, ampliando seu potencial de aplicação em ambientes industriais.

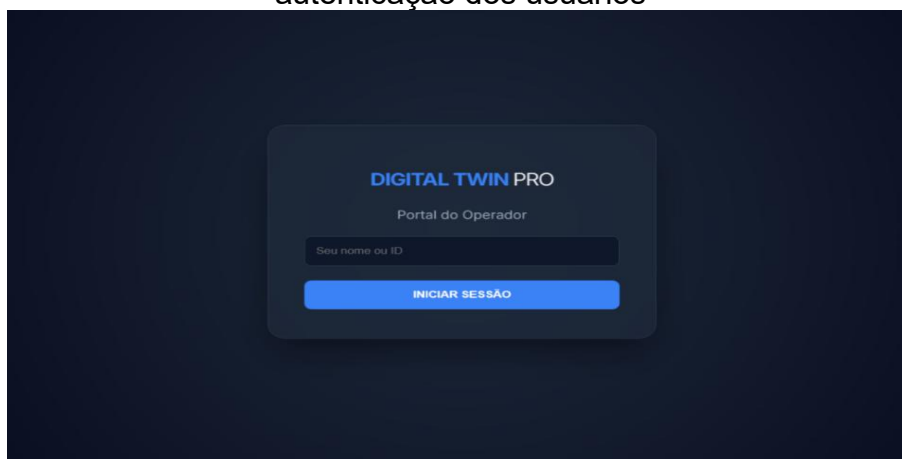
5.1 Funcionamento da Plataforma

A plataforma web foi desenvolvida para centralizar informações relacionadas à máquina enchedora, permitindo o gerenciamento de dados técnicos, componentes, documentos e registros de manutenção em um único ambiente digital. O sistema possibilita o cadastro e a consulta rápida de equipamentos e peças, além do armazenamento de históricos de manutenção e documentação técnica, facilitando o acesso às informações e apoiando as atividades de manutenção preventiva e corretiva. Como resultado, contribui para maior organização, rastreabilidade e agilidade na tomada de decisões. Sua arquitetura também permite futuras expansões, incluindo integração com sensores industriais, monitoramento em tempo real e recursos associados ao conceito de Gêmeo Digital.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As principais interfaces da plataforma desenvolvida são apresentadas a seguir, acompanhadas de descrições que permitem compreender seu funcionamento, funcionalidades e aplicação no contexto da manutenção industrial.

Figura 05 – Interface de acesso ao sistema utilizada para identificação e autenticação dos usuários



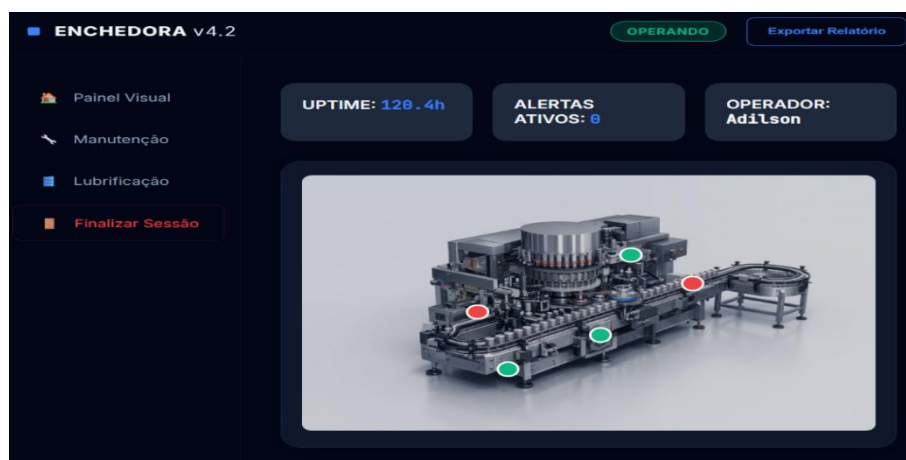
Fonte: Autores (2026)

Na tela (fig 5) mostra o campo de realizar o login do sistema (Portal do Operador).

- a) O usuário digita o nome ou ID
- b) Clica em “Iniciar Sessão”

O sistema usa isso para identificar quem está acessando e liberar o acesso às funções do site (dashboard, dados, etc.)

Figura 06 – Painel Principal da Plataforma Web Desenvolvida.



Fonte: Autores (2026)

A área central da figura 06 apresenta uma representação visual da máquina enchedora, com indicadores sinalizados por cores (verde e vermelho), os quais representam, respectivamente, condições normais de operação e possíveis falhas ou pontos de atenção. Essa visualização facilita a identificação rápida de problemas e auxilia na tomada de decisão por parte do operador

6.1 Painel Principal do Sistema

O Painel principal do sistema desenvolvido, denominado “Enchedora v 4.2”, constitui-se de um dashboard operacional, responsável por centralizar as principais informações de funcionamento da linha de produção em tempo real.

Na parte superior, são exibidos indicadores, como o tempo de operação (uptime), a quantidade de alertas ativos e a identificação do operador responsável, permitindo uma visão rápida do estado atual do sistema.

No canto superior direito, observa-se o status de operação, indicando que o sistema se encontra em modo “Operando”, além da opção de exportação de relatórios, funcionalidade que possibilita a análise posterior dos dados coletados.

À esquerda, encontra-se o menu de navegação, que permite o acesso às

diferentes funcionalidades do sistema, como:

- a) Painel Visual;
- b) Manutenção;
- c) Lubrificação;
- d) Finalização de sessão.

Dessa forma, o painel principal atua como uma interface intuitiva e eficiente, reunindo informações essenciais para o monitoramento e controle do processo produtivo.

Figura 07 – Histórico de Manutenção da Plataforma Web.



DATA	COMPONENTE	TIPO	RESP.	STATUS	AÇÃO
2026-03-10	Rolamento Guia	Preventiva	Pedro	CONCLUÍDO	OK
2026-04-05	Motor Principal	Corretiva	Adilson	CONCLUÍDO	OK
2026-03-05	Engrenagem	Preventiva	Lucas	CONCLUÍDO	OK
2026-04-05	Rolamento Guia	undefined	adilson	CONCLUÍDO	OK

Fonte: Autores (2026)

A tela de Histórico de Manutenção (figura 07) do sistema, é responsável por registrar e exibir todas as intervenções realizadas na máquina ao longo do tempo. Nessa interface, as informações são organizadas em formato de tabela, contendo os seguintes campos: data da manutenção, componente atendido, tipo de manutenção (preventiva ou corretiva), responsável pela execução, status da atividade e a ação realizada.

Essa funcionalidade permite o acompanhamento detalhado das atividades de manutenção, possibilitando a rastreabilidade das intervenções e contribuindo para uma melhor gestão dos ativos industriais. Por meio desse histórico, é possível identificar padrões de falhas, avaliar a frequência de manutenções e apoiar a tomada de decisões voltadas à melhoria da confiabilidade do equipamento.

Além disso, a presença de indicadores de status, como “concluído”, facilita a visualização rápida da situação de cada atividade registrada. O botão de ação associado a cada registro permite a interação com o sistema, como confirmação ou visualização adicional de informações.

Dessa forma, essa tela desempenha um papel fundamental na organização e controle das manutenções, alinhando-se às práticas de manutenção preventiva e corretiva dentro do ambiente industrial.

6.2 Controle de Lubrificação

A tela de Controle de Lubrificação do sistema (figura 08), responsável pelo gerenciamento das atividades de lubrificação dos componentes da máquina. Nessa interface, as informações são organizadas em formato de tabela, contendo os seguintes dados: componente, data da última lubrificação, data da próxima intervenção, tipo de lubrificante utilizado, status da atividade e a opção de ação. O sistema classifica automaticamente o status das lubrificações, indicando se estão “em dia” ou “atrasadas”, utilizando sinalização visual por cores, o que facilita a identificação rápida de componentes que necessitam de atenção imediata.

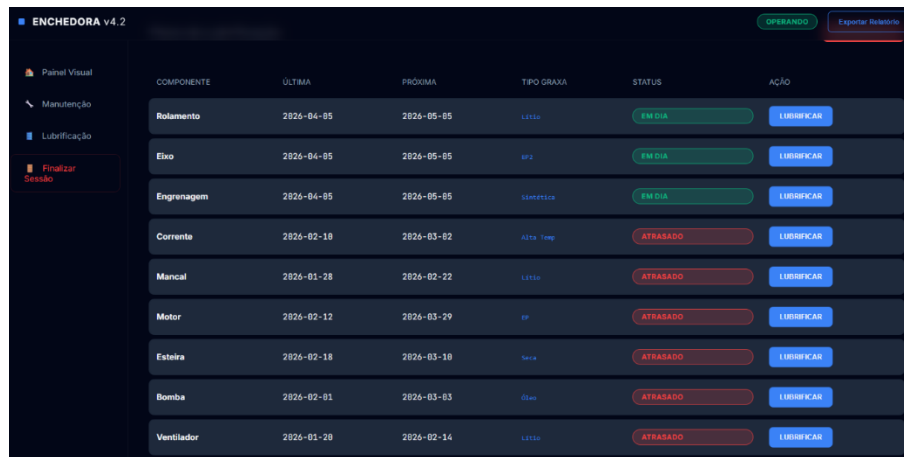
Além disso, a presença do botão “Lubrificar” permite ao operador registrar a execução da atividade diretamente no sistema, garantindo a atualização dos dados e a manutenção do histórico operacional. Essa funcionalidade contribui significativamente para a aplicação de práticas de manutenção preventiva, aumentando a vida útil dos componentes, reduzindo falhas e assegurando maior confiabilidade ao processo produtivo. Dessa forma, a tela de lubrificação atua como uma ferramenta essencial para o controle e planejamento das intervenções periódicas no equipamento.

O sistema desenvolvido apresentou uma solução funcional para o monitoramento e gerenciamento de uma linha de envase, com foco no controle operacional e na gestão da manutenção. A implementação em plataforma web mostrou-se adequada por oferecer acessibilidade, baixo custo e facilidade de utilização. A interface desenvolvida permite acesso rápido a informações como status operacional, indicadores de desempenho e alertas, favorecendo o acompanhamento das atividades em tempo real.

Na gestão da manutenção, o sistema possibilita o registro histórico das intervenções, contribuindo para a rastreabilidade das ações e identificação de falhas recorrentes. Além disso, a funcionalidade de controle de lubrificação auxilia no acompanhamento das atividades preventivas por meio de sinalização visual e classificação automática dos status.

Entretanto, o sistema ainda apresenta limitações relacionadas à ausência de integração com dispositivos industriais e sensores reais, devido ao caráter acadêmico do projeto. Como possibilidade de aprimoramento, destacam-se futuras integrações com tecnologias de Internet das Coisas (IoT), análise de dados e manutenção preditiva.

Figura 08 – Tela de Controle de Lubrificação da Plataforma Web



COMPONENTE	ÚLTIMA	PRÓXIMA	TIPO GRAXA	STATUS	AÇÃO
Rolamento	2026-04-05	2026-05-05	Litlu	EM DIA	LUBRIFICAR
Eixo	2026-04-05	2026-05-05	MPJ	EM DIA	LUBRIFICAR
Engrenagem	2026-04-05	2026-05-05	Lubrificaca	EM DIA	LUBRIFICAR
Corrente	2026-02-18	2026-03-02	Alta Temp	ATRASADO	LUBRIFICAR
Mancal	2026-01-28	2026-02-22	Litlu	ATRASADO	LUBRIFICAR
Motor	2026-02-12	2026-03-29	MP	ATRASADO	LUBRIFICAR
Esteira	2026-02-18	2026-03-10	Suco	ATRASADO	LUBRIFICAR
Bomba	2026-02-01	2026-03-03	Geo	ATRASADO	LUBRIFICAR
Ventilador	2026-01-28	2026-02-14	Litlu	ATRASADO	LUBRIFICAR

Fonte: Autores (2026)

7 RELAÇÃO ENTRE A INTERFACE APRESENTADA E O GÊMEO DIGITAL

A Figura 09 apresenta a relação entre a plataforma desenvolvida e o conceito de Gêmeo Digital aplicado à máquina enchedora da linha de produção. O diagrama demonstra como as informações do equipamento físico são coletadas, organizadas e transformadas em uma representação digital capaz de auxiliar o setor de manutenção industrial na gestão das informações técnicas e operacionais.

Inicialmente, a máquina enchedora representa o ativo físico do processo industrial, sendo a principal fonte de dados utilizados pela plataforma. Entre essas informações estão características técnicas, peças e componentes, registros de manutenção, dados operacionais e documentações técnicas do equipamento. Esses dados são fundamentais para o funcionamento do sistema, pois permitem criar uma base digital organizada sobre a máquina.

Em seguida, ocorre a etapa de coleta e organização das informações, onde os dados da manutenção são cadastrados e armazenados na plataforma desenvolvida. Nessa etapa, o sistema realiza o armazenamento de históricos de manutenção, documentos técnicos, catálogos e registros operacionais, permitindo centralizar todas as informações em um único ambiente digital. Além disso, a plataforma possibilita consultas rápidas e acesso facilitado aos dados necessários para execução das atividades de manutenção.

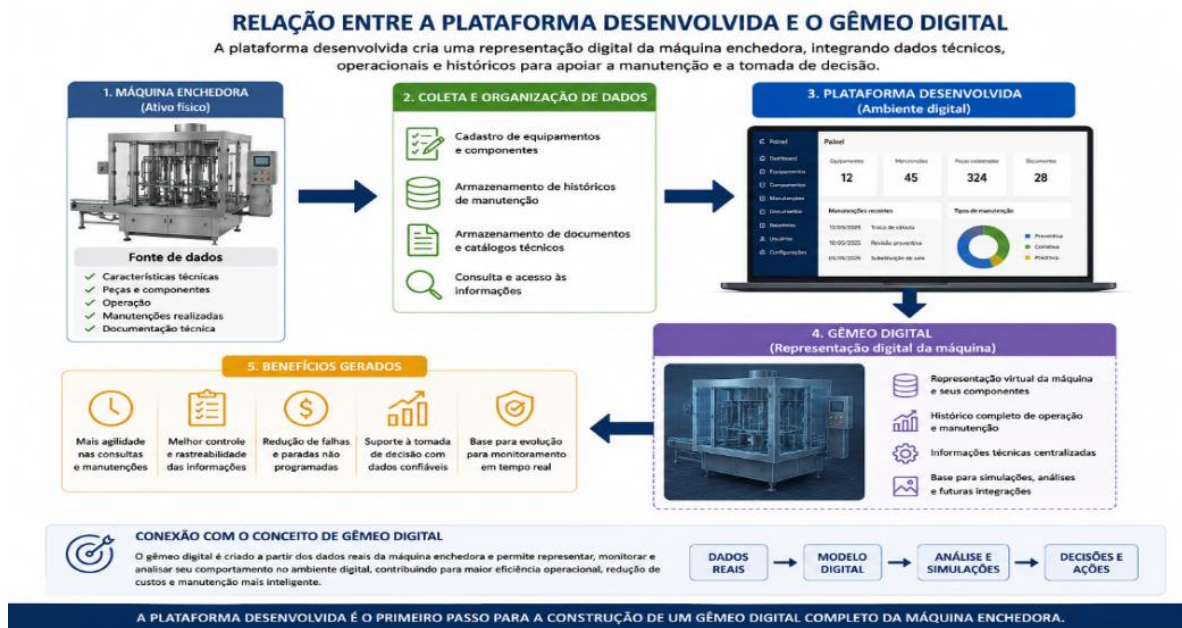
A plataforma web desenvolvida atua como o ambiente digital responsável pelo gerenciamento das informações da máquina enchedora. Por meio dela, os usuários conseguem acessar registros técnicos, consultar peças, visualizar históricos de manutenção e organizar documentos relacionados ao equipamento. Dessa forma, o sistema reduz a dependência de controles manuais realizados em planilhas e registros físicos, proporcionando maior organização e agilidade operacional.

A partir dessas informações armazenadas digitalmente, é criada uma representação virtual da máquina, caracterizando o conceito de Gêmeo Digital.

Embora o sistema ainda não possua monitoramento em tempo real ou integração direta com sensores industriais, a plataforma já representa digitalmente diversos aspectos operacionais da máquina física, como componentes, registros históricos e informações técnicas. Isso permite maior rastreabilidade dos dados e cria uma base para futuras implementações voltadas à Indústria 4.0.

Por fim, o modelo proposto gera benefícios importantes para o setor de manutenção industrial, como maior agilidade nas consultas técnicas, melhor controle das informações, redução de falhas relacionadas à perda de dados e suporte à tomada de decisão. Além disso, a plataforma foi desenvolvida considerando futuras expansões, como integração com sensores, monitoramento em tempo real e análise preditiva, aproximando ainda mais o sistema do conceito completo de Gêmeo Digital aplicado à manutenção industrial.

Figura 09 – Relação entre a Plataforma Desenvolvida e o Conceito de Gêmeo Digital.



Fonte: Autores (2026)

8 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o sistema é capaz de auxiliar no monitoramento da operação, no registro de manutenções e no controle das atividades de lubrificação, contribuindo para a padronização das informações, maior rastreabilidade das atividades e apoio à tomada de decisão no ambiente industrial. Além disso, a centralização dos dados em uma única plataforma favorece a identificação de oportunidades de melhoria e o aumento da eficiência operacional.

Destaca-se ainda que a estrutura desenvolvida apresenta potencial para futuras expansões e integrações com tecnologias amplamente utilizadas na indústria, como sistemas supervisórios (SCADA), Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), sensores inteligentes e bancos de dados industriais. Essa

evolução permitiria a coleta automática de informações em tempo real, aproximando a solução dos conceitos de Indústria 4.0 e ampliando sua capacidade de representação do processo físico por meio de um gêmeo digital.

Nesse contexto, a interface proposta não deve ser vista apenas como uma ferramenta de gerenciamento, mas como uma base tecnológica capaz de sustentar futuras aplicações voltadas à análise de desempenho, manutenção preditiva, simulação de cenários e otimização dos processos produtivos. As informações geradas pelo sistema podem contribuir significativamente para o aumento da confiabilidade operacional, redução de falhas e melhoria contínua das atividades industriais.

Por fim, conclui-se que o projeto atingiu seus objetivos de forma satisfatória, apresentando uma solução funcional, aplicável e alinhada às tendências de transformação digital da indústria. Além de contribuir para o aprendizado acadêmico e a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, o trabalho demonstra o potencial da tecnologia desenvolvida como fundamento para a futura implementação de um gêmeo digital completo e para o avanço da digitalização dos processos industriais.

REFERÊNCIAS

ACATECH. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Frankfurt: Acatech, 2013.

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, v. 22, n. 3, p. 899–919, 2019.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. *Administração de Produção e Operações*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, v. 210, p. 15–26, 2019.

FULLER, A.; FAN, Z.; DAY, C.; BARLOW, C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access*, v. 8, p. 108952–108971, 2020.

GRIEVES, Michael. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Florida Institute of Technology, 2014.

KARDec, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.

Krones AG. *Technology for Filling and Packaging Beverages*. Alemanha, 2020.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*,

v. 3, p. 18–23, 2015.

MOUBRAY, John. Reliability-Centered Maintenance. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

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

ROCKWELL AUTOMATION. Industrial Automation Systems. Estados Unidos, 2021.

ROCKWELL AUTOMATION. Smart Manufacturing and Digital Transformation Report. Estados Unidos, 2024.

SCHWAB, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. São Paulo: Edipro, 2016.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2023.

SHNEIDERMAN, Ben. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. 5. ed. Boston: Addison-Wesley, 2010.

SIEMENS AG. Digital Enterprise Solutions. Alemanha, 2020.

SIEMENS AG. Digital Twin Technology in Manufacturing. Alemanha, 2023.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

TAO, Fei; ZHANG, Meng; LIU, Yingcheng; NEE, A. Y. C. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. Academic Press, 2018.

TAO, Fei et al. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 94, p. 3563–3576, 2018.

TAO, Fei; XIA, Qinglin; LIU, Aiyang. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 18, n. 4, p. 2403–2415, 2022.

WIREMAN, Terry. Total Productive Maintenance. New York: Industrial Press, 2004.