



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

PEDRO HENRIQUE CECCATO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA
PROGRAMAÇÃO ESTRATÉGICA DE MANUTENÇÃO**

ARAXÁ-MG

2026

PEDRO HENRIQUE CECCATO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA PROGRAMAÇÃO
ESTRATÉGICA DE MANUTENÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Automação
Industrial, do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG,
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Automação
Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Resende Mattioli

ARAXÁ-MG

2026

S586d	Silva, Pedro Henrique Ceccato. Desenvolvimento de sistema semiautomático para programação estratégica de manutenção / Pedro Henrique Ceccato Silva. – 2026. 57 f. : il. Orientador: Prof. Dr. Leandro Resende Mattioli. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. <i>Campus</i> Araxá. Engenharia de Automação Industrial, Departamento de Eletromecânica, Araxá, 2026. Bibliografia. 1. Automação Industrial. 2. Empresa – Manutenção e Reparos. 3. Empresa - Automação. I. Mattioli, Leandro Resende. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título. CDU 681.5
-------	---



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 4 / 2026 - DELMAX (11.57.05)

Nº do Protocolo: 23062.034967/2026-11

Araxá-MG, 07 de julho de 2026.

PEDRO HENRIQUE CECCATO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA PROGRAMAÇÃO
ESTRATÉGICA DE MANUTENÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de **Engenharia de Automação Industrial** do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, do Campus **Araxá**, como parte do requisito para obtenção do grau de Bacharel em **Engenharia de Automação Industrial**.

Aprovado em **19 de junho de 2026**.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leandro Resende Mattioli - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Admilson Vieira da Costa
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira Leite
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

**Araxá
2026**

(Assinado digitalmente em 08/07/2026 19:10)
ADMILSON VIEIRA DA COSTA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 1555722

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 17:50)
LEANDRO RESENDE MATTIOLI
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 2973183

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 13:22)
MATEUS ANTUNES OLIVEIRA LEITE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEEB (11.56.12)
Matrícula: 3138470

(Assinado digitalmente em 07/07/2026 10:32)
PEDRO HENRIQUE CECCATO SILVA
DISCENTE
Matrícula: 20183010372

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **4**, ano: **2026**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão:
07/07/2026 e o código de verificação: **53d9faf95c**

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema semiautomático para programação estratégica de manutenção, voltado ao apoio das atividades de planejamento e organização semanal de serviços em ambiente industrial. O objetivo principal consiste em estruturar uma solução computacional capaz de tratar dados extraídos de um sistema corporativo de manutenção, aplicar critérios de filtragem e priorização, considerar restrições de capacidade de mão de obra e gerar uma grade semanal de programação. A metodologia adotada envolveu o levantamento e a organização de bases de ordens de manutenção, operações, locais de instalação, ordens reservadas e disponibilidade dos colaboradores. Em seguida, foram implementadas rotinas de tratamento de dados, identificação de ordens relacionadas à segurança, qualificação de registros aptos, ordenamento hierárquico e alocação das operações conforme especialidade técnica e carga horária disponível. A validação foi realizada por meio de três cenários de simulação com bases reais, permitindo avaliar o comportamento do sistema diante de diferentes carteiras de serviços. Os resultados demonstraram elevado aproveitamento da capacidade cadastrada, respeito aos limites de jornada dos colaboradores e preservação dos critérios de prioridade definidos para a programação. Além disso, a ferramenta reduz significativamente o tempo empenhado nesta tarefa, substituindo uma duração de algumas horas por uma de poucos minutos. Conclui-se que a solução desenvolvida contribui para tornar a programação de manutenção mais ágil, padronizada e aderente às restrições operacionais da equipe técnica.

Palavras-chave: Alocação de Recursos. Manutenção Industrial. Priorização de Ordens. Programação de Manutenção. Sistema Semiautomático.

ABSTRACT

This work presents the development of a semi-automated system for strategic maintenance scheduling, designed to support the planning and weekly organization of maintenance activities in an industrial environment. The main objective is to provide a computational solution capable of processing data extracted from a corporate maintenance management system, applying filtering and prioritization criteria, considering workforce capacity constraints, and generating a weekly maintenance schedule. The adopted methodology involved collecting and organizing databases containing maintenance orders, operations, installation locations, reserved work orders, and employee availability. Subsequently, data-processing routines were implemented to identify safety-related work orders, qualify eligible records, perform hierarchical prioritization, and allocate operations according to technical specialization and available working hours. Validation was carried out through three simulation scenarios using real datasets, allowing the evaluation of the system's performance under different maintenance service portfolios. The results demonstrated a high utilization rate of the registered workforce capacity, compliance with employees' working-hour limits, and preservation of the priority criteria established for scheduling. Furthermore, the tool significantly reduces the time required for this task, replacing a process that previously took several hours with one that can be completed in just a few minutes. It is concluded that the developed solution contributes to making maintenance scheduling more agile, standardized, and aligned with the operational constraints of the technical team.

Keywords: Resource Allocation. Industrial Maintenance. Work Order Prioritization. Maintenance Scheduling. Semi-Automated System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 1 – Pilares do PCM	22
Figura 2 – Módulos do SAP	23
Figura 3 – Visão geral das planilhas de entrada	33
Figura 4 – Fluxograma do sistema	34
Figura 5 – Fluxograma de filtragem das ordens de manutenção	36
Figura 6 – Diagrama hierárquico dos critérios de ordenação da fila de ordens	38
Figura 7 – Comparação entre capacidade disponível e horas programadas nos cenários simulados.....	47
Figura 8 – Interface Gráfica.....	51

LISTA DE TABELAS E QUADROS

	Página
Tabela 1 – Filtragem de ordens	44
Tabela 2 – Filtragem de operações das ordens	45
Tabela 3 – Ocupação global da equipe técnica nos três cenários	46
Tabela 4 – Volume de alocações, operações e ordens programadas por cenário	47
Tabela 5 – Atendimento das ordens reservadas nos cenários simulados	49
Tabela 6 – Critérios prioritários observados nas ordens programadas	49
Tabela 7 – Tempo de processamento computacional por cenário	50
Quadro 1 – Centros de trabalho	27
Quadro 2 – Alguns status das ordens de manutenção	28
Quadro 3 – Amostra da planilha de ordens de manutenção	30
Quadro 4 – Amostra da planilha de operações das ordens de manutenção	31
Quadro 5 – Modelo da planilha de cadastro de funcionários e capacidades	32
Quadro 6 – Exemplo prático do fluxo de desempate e ordenação da fila	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ERP	Sistema Integrado de Gestão (do inglês <i>Enterprise Resource Planning</i>)
JIT	Sistema de produção sob demanda (do inglês <i>Just in Time</i>)
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
RH	Recursos Humanos
TPM	Manutenção Produtiva Total (do inglês <i>Total Productive Maintenance</i>)
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados (do alemão <i>SystemAnalyse Programmentwicklung</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Tema	13
1.2	Problema de Pesquisa	14
1.3	Hipótese	14
1.4	Justificativa	14
1.5	Objetivo Geral.....	15
1.5.1	Objetivos Específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Manutenção Industrial	16
2.1.1	Manutenção Corretiva Não Planejada	17
2.1.2	Manutenção Corretiva Planejada.....	18
2.1.3	Manutenção Preventiva	19
2.1.4	Manutenção Preditiva	19
2.1.5	Manutenção Prescritiva	20
2.1.6	Engenharia de Manutenção	20
2.2	Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)	21
2.3	Sistema de Controle da Manutenção.....	22
2.3.1	SAP ERP.....	22
2.4	Bancos de Dados.....	23
2.4.1	SAP HANA	24
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Levantamento e Estruturação de Dados.....	25
3.1.1	Locais de Instalação.....	26
3.1.2	Centros de Trabalho.....	26

3.1.3	Ordens de Manutenção	27
3.1.4	Operações das Ordens de Manutenção	28
3.1.5	Capacidade Operacional	32
3.1.6	Ordens Reservadas	32
3.1.7	Visão geral das planilhas de entrada.....	32
3.2	Desenvolvimento da Solução.....	33
3.2.1	Entrada e Carregamento de Dados	34
3.2.2	Tratamento e Extensão de Dados	35
3.2.3	Identificação de Ordens de Segurança.....	35
3.2.4	Qualificação e Filtragem de Status Operacionais.....	35
3.2.5	Estrutura de Ordenamento e Regra Hierárquica de Priorização.....	37
3.2.6	O Algoritmo de Alocação de Recursos	39
3.2.7	Lógica de Alocação Simultânea	39
3.2.8	Interface Gráfica e Interação com o Usuário	40
3.3	Ambiente de Testes e Cenário de Simulação.....	41
3.4	CrITÉrios de Avaliação de Desempenho do Sistema	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Carteira de Ordens Extraídas	43
4.2	Capacidade e Ocupação da Equipe Técnica	45
4.3	Validação do Ordenamento de Prioridades.....	48
4.4	Avaliação do Tempo de Processamento	50
4.5	Interface Gráfica e Usabilidade do Usuário.....	51
5	CONCLUSÕES	53
5.1	TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial desempenha um papel decisivo na continuidade operacional das empresas, influenciando diretamente na disponibilidade dos ativos, na produtividade e na segurança dos processos. Para Kardec e Nascif (2019), a manutenção deixou de ser uma atividade meramente corretiva e passou a assumir uma função estratégica nas organizações, sendo essencial para garantir níveis adequados de confiabilidade e desempenho dos equipamentos. Nesse contexto, o planejamento e a programação das atividades de manutenção tornam-se etapas fundamentais para assegurar que os recursos disponíveis sejam utilizados de forma eficiente.

1.1 Tema

Atualmente, as organizações utilizam Sistemas Integrados de Gestão (ERP) que interconectam e automatizam processos de uma empresa, como finanças, estoque, vendas, recursos humanos, manutenção e produção. O software SAP (SAP, 2024) é um dos sistemas ERP mais difundidos mundialmente e líder de mercado em soluções corporativas integradas. Dentro dele, existe um módulo dedicado à manutenção, conhecido como SAP PM (Plant Maintenance). Embora o módulo seja amplamente adotado para o registro, controle e acompanhamento das ordens de manutenção, a etapa de programação semanal ainda depende da análise manual dos planejadores. Essa atividade exige a consideração simultânea de algumas variáveis, como a capacidade dos centros de trabalho, a criticidade das ordens, as solicitações operacionais e a localização dos equipamentos.

Diante desse cenário, estudos e trabalhos aplicados vêm explorando algoritmos de otimização e técnicas inteligentes como algoritmos genéticos, heurísticas e automação robótica de processos com o objetivo de reduzir o esforço manual do planejador e melhorar a alocação de ordens segundo restrições operacionais (disponibilidade de recursos, tempo de execução e sequência lógica de intervenções). Projetos recentes demonstram a viabilidade de sistemas que integram automação e algoritmos evolutivos para sugerir programações semanais e priorizar ordens conforme múltiplos critérios. Um exemplo é a dissertação de Sepulcri (2024), que propõe um sistema de apoio à programação de manutenção que combina automação robótica de processos com algoritmos genéticos para auxiliar o planejador na geração de programações.

O cenário atual demonstra que existem esforços visando a automação da programação de manutenção, ainda que as soluções apresentadas frequentemente não incorporem todas as variáveis operacionais simultaneamente. Diante disso, identifica-se uma lacuna importante: a ausência de uma ferramenta prática, acessível e automatizada que realize a programação das ordens de manutenção com base nos dados extraídos do SAP PM, utilizando critérios múltiplos e adaptáveis à realidade operacional da empresa.

1.2 Problema de Pesquisa

Como automatizar a programação semanal de manutenção de forma integrada, considerando simultaneamente as restrições de capacidade operacional e múltiplos critérios de priorização?

1.3 Hipótese

A aplicação de algoritmos de priorização multicritério associados às restrições de capacidade operacional é capaz de gerar programações semanais aderentes à realidade da manutenção industrial, reduzindo significativamente o esforço manual requerido para a elaboração da programação.

1.4 Justificativa

A programação de manutenção industrial é uma atividade que exige análise detalhada dos planejadores e programadores, consumindo tempo e esforço significativo na rotina das empresas. No cenário atual, conforme levantado em uma mineradora de Araxá-MG, esse processo ainda depende de avaliação manual ordem a ordem, o que aumenta a possibilidade de inconsistências na alocação dos recursos e pode comprometer a eficiência operacional. Embora o SAP PM ofereça funcionalidades para registro e controle das ordens de manutenção, não há uma ferramenta nativa que automatize a programação semanal, o que gera uma oportunidade de melhoria evidente.

A coleta e o tratamento dos dados demonstram potencial para estruturar informações essenciais e apoiar a tomada de decisão de forma ágil e confiável. Entretanto, a ausência de

uma solução prática e automatizada para a programação semanal evidencia uma oportunidade de melhoria no processo. Nesse contexto, a solução proposta busca reduzir o esforço manual, apoiar o planejador na indicação de ordens prioritárias e tornar a programação semanal mais eficiente. Além disso, a proposta contribui para o avanço das ferramentas de apoio à decisão na manutenção, permitindo maior foco do PCM em atividades críticas e otimizando a alocação de recursos para reduzir o backlog (pendências) na planta.

1.5 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema para automatizar parcialmente a tarefa de programação de manutenção, utilizando dados exportados do SAP PM e aplicando algoritmos determinísticos que considerem múltiplos critérios definidos previamente pelo Planejamento e Controle da Manutenção.

1.5.1 Objetivos Específicos

Enumeram-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir critérios de priorização automáticos baseados em critérios técnicos e de segurança;
- Conceber um algoritmo de programação que realize o cruzamento entre a carteira de ordens e a capacidade real de homens-hora dos centros de trabalho;
- Gerar grades de programação semanais organizadas por dia e especialidade técnica, permitindo a gestão de atividades multidisciplinares.
- Avaliar o desempenho da solução, em termos de tempo de processamento e qualidade da solução gerada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo traz alguns fundamentos referentes à Manutenção Industrial, ao Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), ao Sistema de Controle da Manutenção e aos Bancos de Dados.

2.1 Manutenção Industrial

A evolução da manutenção acompanha o desenvolvimento da indústria e do próprio avanço tecnológico ao longo da história. Conforme Tavares (1999), suas práticas tiveram início ainda no final do século XIX, quando os primeiros consertos surgiram com o processo de mecanização industrial, embora Wyrebski (2007) ressalte que, desde antigas civilizações, existiam ações de preservação de ferramentas e pequenos ajustes em utensílios da época. No entanto, somente com a Revolução Industrial, ainda no século XVIII, a manutenção passou a assumir papel fundamental para garantir o progresso das atividades produtivas, impulsionada pelo avanço das máquinas e necessidades operacionais (WYREBSKI, 2007).

Antes da Revolução Industrial, o setor produtivo trabalhava sob demanda artesanal, sem o uso de máquinas e equipamentos, o que tornava a manutenção praticamente inexistente. Com o surgimento das máquinas a vapor, os operadores passam a ser capacitados para executar lubrificações e reparos básicos, marcando os primeiros passos da estruturação dessa área (PIECHNICKI, 2012).

Segundo Pinto e Xavier (2007), a evolução da manutenção pode ser compreendida, inicialmente, em três gerações. A Primeira Geração ocorreu antes da Segunda Guerra Mundial, caracterizada pela baixa automação industrial, pela simplicidade dos equipamentos e pela baixa exigência de produtividade. Nesse contexto, as intervenções eram corretivas e realizadas apenas após as falhas, limitando-se a reparos, limpezas e lubrificações.

A Segunda Geração surgiu durante e após a Segunda Guerra Mundial, impulsionada por uma crescente mecanização e pela alta demanda de produtos. Neste momento, a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos tornaram-se essenciais para a competitividade industrial (PINTO; XAVIER, 2007). Para atender essa necessidade, começa a prática de inspeções periódicas, com o objetivo de evitar falhas inesperadas, originando a manutenção preventiva. No entanto, o modelo baseado em intervalos fixos aumentou custos de manutenção e acarretou impactos indesejados na produção, especialmente em organizações que adotavam conceitos como o Just-in-time (JIT) (SIQUEIRA, 2005). Essas limitações contribuíram para o

fortalecimento do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) e para o surgimento da Manutenção Produtiva Total (TPM) (PINTO; XAVIER, 2007).

A Terceira Geração iniciou-se na década de 1970, acompanhando o avanço da automação industrial. Nesse período, as empresas passaram a monitorar a condição real dos ativos, utilizando parâmetros e dados para prever falhas, iniciando a manutenção preditiva (MOUBRAY, 1997; PINTO; XAVIER, 2007).

Ampliando a visão apresentada pelos autores anteriores, Kardec e Nascif (2019) apresentam um modelo de seis gerações da manutenção, que considera os avanços experimentados até os dias atuais. A Quarta Geração, entre 2000 e 2005, consolidou a Engenharia de Manutenção e o gerenciamento de ativos, trazendo o conceito de custos do ciclo de vida dos equipamentos. A Quinta Geração, entre 2010 e 2015, aprofundou a gestão de ativos com integração entre áreas estratégicas, ampliando o monitoramento da performance e fortalecendo a manutenção preditiva com novos métodos e tecnologias. Por fim, a Sexta Geração surge com a Indústria 4.0, marcada por Inteligência Artificial, Big Data, Sensores Inteligentes, Internet das Coisas e automação avançada, potencializando o monitoramento em tempo real e abrindo caminho para a manutenção prescritiva (KARDEC; NASCIF, 2019).

As próximas seções descrevem, brevemente, cada uma dessas modalidades de manutenção.

2.1.1 Manutenção Corretiva Não Planejada

A manutenção corretiva não planejada ocorre quando um equipamento falha de forma inesperada, interrompendo imediatamente o processo produtivo e exigindo intervenção urgente por parte da manutenção. Nessas situações, não há preparação prévia, o que pode resultar em paradas prolongadas, impactos na produtividade e realocação emergencial de recursos para restabelecer o funcionamento do ativo no menor tempo possível. Como comentam Kardec e Nascif (2019), por não haver preparação ou componentes separados, os custos quase sempre sobem e podem ocorrer perdas de qualidade no produto.

Esse tipo de manutenção entra em ação depois que o problema aconteceu, conforme define a ABNT (1994). Caracteriza-se, portanto, como uma estratégia de manutenção de natureza reativa. Em situações de maior severidade, pode ser necessária a interrupção do processo produtivo. Pereira (2019) destaca exatamente isso, chamando esse tipo de parada de “catastrófica” para o processo industrial.

Além dos impactos operacionais e econômicos, existem implicações relacionadas à segurança dos colaboradores. Intervenções realizadas sob condições emergenciais podem

aumentar a exposição dos trabalhadores a riscos operacionais. É por essa razão que Moschin (2015) afirma que esse tipo de intervenção deveria ser reduzido ao máximo. Uma simples quebra pode gerar outro problema ainda maior, criando um efeito dominó que deixa a situação ainda mais complexa.

2.1.2 Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada constitui uma intervenção aplicada quando o equipamento apresenta sinais de deterioração ou desempenho abaixo do esperado, porém ainda é capaz de operar por determinado período até que a falha possa ser tratada em momento oportuno. Dessa forma, esse tipo de manutenção não possui caráter emergencial, sendo programada com antecedência para minimizar impactos na produção. Essa possibilidade de agendamento permite que a parada ocorra em períodos de menor interferência ao processo fabril, a partir de uma análise prévia das condições operacionais e dos riscos envolvidos (FILHO, 2008).

Segundo Kardec e Nascif (2019), a manutenção corretiva planejada pode ser definida como a ação corretiva baseada no acompanhamento de parâmetros de condição e no diagnóstico realizado por meio de técnicas como manutenção preditiva, detectiva ou inspeções. Esse monitoramento possibilita identificar, com antecedência, quando o desempenho do equipamento está abaixo do esperado, levando ao planejamento da intervenção para o momento mais adequado.

Do ponto de vista estratégico, o trabalho planejado apresenta vantagens significativas sobre a corretiva não planejada, pois resulta em maior agilidade, melhor qualidade e maior segurança na execução dos serviços, além de custos menores para a organização. Para que essa prática seja viabilizada, é imprescindível considerar aspectos como impactos para o sistema produtivo, segurança dos colaboradores, disponibilidade de mão de obra técnica, planejamento adequado dos recursos de manutenção e garantia de peças sobressalentes (FILHO, 2008; KARDEC; NASCIF, 2019).

2.1.3 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva tem como objetivo evitar falhas nos equipamentos e interrupções no processo produtivo, atuando de forma antecipada e planejada. Para Pinto e Xavier (2007), trata-se de uma intervenção realizada conforme um plano previamente estabelecido e com base em intervalos definidos de tempo, buscando reduzir a probabilidade de quebras ou queda de desempenho. Nessa mesma linha, Rodrigues (2016) destaca que esse tipo de manutenção segue um cronograma estruturado para monitorar o desgaste dos ativos, por meio de inspeções de rotina, substituições programadas de componentes e diretrizes dos fabricantes.

Lafraia (2014) afirma que a manutenção preventiva visa manter o equipamento em estado operacional confiável, utilizando ações como limpeza, calibração, lubrificação, inspeções e identificação precoce de anomalias. O autor também classifica essas tarefas em três grupos: atividades baseadas no tempo, que buscam prevenir falhas por meio de revisões periódicas; baseadas na condição, que monitoram sintomas iniciais de falhas; e testes para identificar falhas ocultas antes que gerem impactos operacionais.

Embora demande investimentos e recursos específicos, a manutenção preventiva costuma ser mais vantajosa economicamente quando comparada aos custos gerados por paradas inesperadas. Nesse sentido, Xenos (2004) ressalta que as ações preventivas reduzem riscos e contribuem para a continuidade produtiva com maior segurança, evitando perdas decorrentes de falhas abruptas.

2.1.4 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva, também denominada manutenção baseada na condição, tem como objetivo detectar alterações no estado físico do equipamento antes que uma falha se concretize. Para isso, utiliza medições sistemáticas realizadas com o equipamento em funcionamento, acompanhando parâmetros relacionados ao seu desempenho para antecipar a necessidade de intervenção (KARDEC; NASCIF, 2019).

Segundo Otani e Machado (2008), essa prática é uma evolução dos métodos preventivos, pois observa a condição real dos ativos para determinar o momento ideal de parada, evitando desmontagens desnecessárias e garantindo o uso do componente até o limite seguro de sua vida útil. Para isso, são monitoradas variáveis como vibração, temperatura e ruídos por meio de ferramentas e sensores adequados, possibilitando identificar indícios iniciais de desgaste ou falha ainda durante a operação (ALMEIDA, 2015).

Além de minimizar falhas catastróficas, a manutenção preditiva contribui para o aumento da confiabilidade dos sistemas produtivos e para a otimização de recursos. Pereira (2019) destaca que o acompanhamento contínuo da condição do equipamento evita a troca de componentes sem necessidade, reduzindo custos e melhorando a disponibilidade operacional. Esse método representa uma mudança significativa de paradigma na manutenção industrial, pois prioriza o monitoramento inteligente para tomada de decisões mais precisas e alinhadas às necessidades reais do processo produtivo (KARDEC; NASCIF, 2019).

2.1.5 Manutenção Prescritiva

A manutenção prescritiva surgiu acompanhando o avanço tecnológico recente e representa uma evolução da manutenção preditiva ao incorporar mecanismos de recomendação e suporte à decisão. Além de identificar potenciais falhas, essa abordagem é capaz de recomendar ações corretivas ou preventivas apropriadas. Kardec e Nascif (2019) destacam que, com esse tipo de análise, é possível entender o que está prestes a acontecer com o equipamento e fornecer recomendações para a tomada de decisão relacionada à intervenção.

Essa abordagem só se tornou possível com recursos típicos da Indústria 4.0: sensores, conectividade, Inteligência Artificial, análise de grandes volumes de dados e sistemas integrados. Com isso, o monitoramento acontece em tempo real e as recomendações são automáticas, possibilitando inclusive a geração automática de solicitações ou ordens de manutenção. (KARDEC; NASCIF, 2019).

2.1.6 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção marca uma nova fase na gestão dos ativos, pois busca elevar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos por meio de ações técnicas mais estruturadas. Essa atuação envolve maior integração com áreas como projeto e suprimentos, além do desenvolvimento da manutenibilidade e de melhorias nos processos de manutenção (OTANI; MACHADO, 2008).

Para Kardec e Nascif (2019), esse campo se apoia em dois pilares principais: manter rotinas bem estabelecidas e promover melhorias contínuas. Assim, a Engenharia de Manutenção acompanha indicadores, revisa planos e introduz técnicas mais modernas para alcançar o desempenho esperado pela empresa.

Com esse suporte técnico mais especializado, a manutenção passa a atuar de forma alinhada com padrões reconhecidos internacionalmente, contribuindo para operações industriais mais seguras, eficientes e competitivas (KARDEC; NASCIF, 2019).

Nesse contexto, ferramentas computacionais voltadas ao planejamento e à programação de manutenção constituem instrumentos importantes da Engenharia de Manutenção, uma vez que contribuem para a otimização dos recursos disponíveis e para a melhoria contínua dos processos de gestão dos ativos.

2.2 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

O planejamento e o controle da manutenção têm papel essencial na garantia da disponibilidade dos equipamentos e no bom desempenho do processo produtivo. Como destaca Viana (2002), essa função organiza e coordena os recursos da manutenção com foco no funcionamento adequado da infraestrutura industrial e na competitividade da empresa. Para Branco Filho (2008), trata-se de preparar, programar e acompanhar as atividades executadas, assegurando que os resultados estejam alinhados às metas e correções necessárias sejam aplicadas quando houver desvios.

Nascif e Dorigo (2013) reforçam que o planejamento contribui diretamente para uma utilização mais eficiente da mão de obra e dos materiais, além de favorecer ambientes produtivos mais estáveis, com menos intervenções emergenciais. A programação adequada possibilita reduzir desperdícios, padronizar procedimentos e minimizar o tempo de parada dos ativos, melhorando a produtividade e a confiabilidade operacional (BRANCO FILHO, 2008).

Nesse contexto, Souza (2008) define o planejamento e controle da manutenção como um conjunto estratégico de ações voltadas a preparar, programar, controlar e verificar os resultados das atividades de manutenção frente a valores pré-estabelecidos, adotando medidas de correção de desvios sempre que necessário. Para sustentação dessa prática, Kardec e Nascif (2019) destacam a relevância da existência de um sistema estruturado manual ou informatizado que dê suporte às decisões e assegure que a manutenção seja conduzida de forma prioritariamente planejada, fortalecendo a gestão dos ativos e o desempenho global da organização. A Figura 1 mostra os Pilares do Planejamento e Controle da Manutenção.

Figura 1 – Pilares do PCM



Fonte: (SYDLE, 2023)

2.3 Sistema de Controle da Manutenção

Os Sistemas de Gestão de Manutenção são essenciais para reunir e organizar as informações relacionadas aos serviços realizados, recursos, materiais e necessidades operacionais dos ativos industriais. Como afirmam Kardec e Nascif (2019), é fundamental a existência de um Sistema de Controle da Manutenção, pois ele permite identificar claramente:

- quais serviços serão feitos;
- quando os serviços serão feitos;
- que recursos serão necessários para a execução dos serviços;
- quanto tempo será gasto em cada serviço;
- quais serão os custos de cada serviço;
- e que máquinas, dispositivos e ferramentas serão necessários.

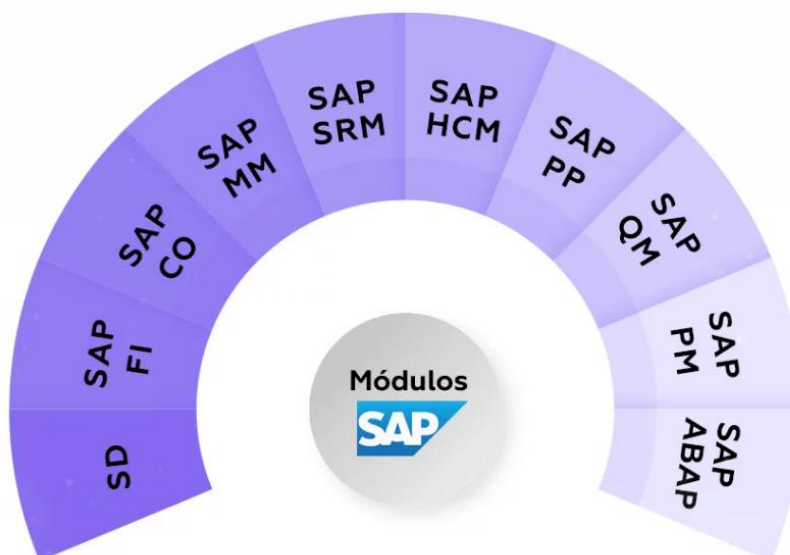
Essa estruturação promove melhor planejamento, priorização das atividades e maior eficiência na execução da manutenção, fortalecendo a confiabilidade dos equipamentos e o desempenho operacional da empresa.

2.3.1 SAP ERP

O uso de sistemas ERP como o SAP ERP é essencial nas práticas modernas de manutenção industrial, pois permite integrar e centralizar o controle das diversas áreas da empresa em uma mesma plataforma. A SAP, fundada em 1972, evoluiu de sistemas básicos para o robusto SAP S/4HANA, adotado por grandes empresas em todo o mundo, o que demonstra a importância, a solidez e a maturidade dessa solução para gestão integrada

(SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Essa integração assegura que informações críticas como histórico de intervenções, dados de equipamentos, locais de instalação e recursos disponíveis não se percam, garantindo rastreabilidade e consistência ao longo do tempo. O SAP é modularizado, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Módulos do SAP



Fonte: (MIGNOW, 2022)

Dentro do SAP ERP, os módulos mais relevantes para a manutenção são o SAP PM (Plant Maintenance) e o SAP MM (Materials Management). O SAP PM oferece suporte ao planejamento e execução de tarefas de manutenção, contemplando atividades corretivas e preventivas, além de organizar o fluxo de ordens de serviço conforme as necessidades da planta (INTELLEVO, 2023). O SAP MM gerencia o ciclo de materiais, incluindo compras, estoque, movimentações e reservas, de forma integrada ao controle de peças e insumos necessários às ordens de manutenção (MIGNOW, 2022).

2.4 Bancos de Dados

Um banco de dados pode ser definido como um conjunto estruturado de informações armazenadas de forma organizada em meios digitais, permitindo que tais dados sejam acessados, atualizados e gerenciados conforme a necessidade dos usuários (ORACLE, 2024).

As organizações modernas lidam com quantidades cada vez maiores de informações, que abrangem desde dados operacionais até pesquisas proprietárias. Quando necessitam realizar

consultas e utilizá-los de forma eficiente, torna-se necessário organizá-los em uma estrutura lógica e consistente, de modo a facilitar o acesso tanto por usuários quanto por aplicações computacionais (IBM, 2023).

Nesse contexto, a extração de dados de sistemas empresariais, como o SAP ERP, constitui uma etapa fundamental quando as informações registradas em sistemas internos precisam ser aproveitadas em contextos externos, como planilhas ou sistemas personalizados. Berti et al. (2021) mostram que os dados exportados podem ser convertidos em estruturas organizadas e consistentes, que podem ser analisadas e automatizadas, assegurando integridade e viabilidade para uso em programação.

2.4.1 SAP HANA

O SAP HANA é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional em memória, orientado a colunas, desenvolvido pela SAP para processar grandes volumes de dados diretamente na memória principal do servidor, em vez de em disco, permitindo consultas e análises em tempo quase real (SAP, 2026; IBM, 2021). Trata-se de uma plataforma de dados multimodelo que combina serviços de banco de dados, processamento analítico avançado e mecanismos de desenvolvimento de aplicações em um único ambiente (SAP, 2026).

Por utilizar armazenamento colunar e técnicas de compressão, a solução reduz a latência de acesso, otimiza o uso de recursos e favorece o paralelismo no processamento de consultas sobre grandes conjuntos de dados (SAP, 2026; CLARANET, 2023). No ecossistema SAP, o SAP HANA é amplamente utilizado como banco de dados para sistemas empresariais, como o SAP S/4HANA, possibilitando integrar dados operacionais e analíticos em uma única plataforma de dados e apoiando a tomada de decisão em tempo real (BERTHOLDO, 2023).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, descreve-se a metodologia empregada para o desenvolvimento do sistema semiautomático de programação de manutenção. A pesquisa seguiu uma trajetória estruturada em etapas sequenciais, desde a extração e preparação dos dados provenientes do ERP, passando pelo tratamento das informações e definição dos critérios de priorização, até a geração da grade semanal de programação. Essa organização metodológica buscou garantir a rastreabilidade das etapas executadas, a reprodutibilidade do processo e a aderência da solução às restrições operacionais observadas no ambiente de manutenção industrial.

Quanto à sua natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois tem como finalidade o desenvolvimento de uma solução computacional voltada à resolução de um problema prático relacionado à programação semanal de manutenção no setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM).

Embora a ferramenta desenvolvida não tenha sido implementada diretamente na rotina operacional da organização durante o período de realização deste trabalho, sua validação foi conduzida por meio de simulações computacionais utilizando bases reais de ordens de manutenção, operações, locais de instalação e disponibilidade de mão de obra. Dessa forma, o estudo concentrou-se na proposição e avaliação de uma lógica capaz de apoiar o programador na elaboração da programação semanal, sem necessidade de modificações estruturais no ERP.

A trajetória metodológica consistiu na extração manual de dados do módulo SAP PM, na estruturação das bases em planilhas eletrônicas, no tratamento e enriquecimento das informações, na aplicação de critérios hierárquicos de priorização e, por fim, na alocação das operações conforme a disponibilidade de homens-hora dos colaboradores cadastrados. As próximas seções descrevem cada uma dessas etapas.

3.1 Levantamento e Estruturação de Dados

A primeira etapa do desenvolvimento consistiu no levantamento e na estruturação das bases de dados necessárias para o funcionamento do sistema. As informações operacionais foram obtidas a partir de planilhas exportadas manualmente do ERP SAP, contemplando ordens de manutenção, operações associadas às ordens e locais de instalação. Além dessas bases provenientes do ERP, foram utilizadas planilhas complementares preenchidas pelo usuário, destinadas ao cadastro de ordens reservadas e à definição da disponibilidade semanal dos colaboradores.

Após a extração dos dados, realizou-se um processo de organização e padronização das planilhas, de modo a converter os registros brutos em parâmetros de entrada do programa.

A seguir, são apresentadas as planilhas utilizadas e seus propósitos.

3.1.1 Locais de Instalação

Inicialmente, realizou-se a extração da base de locais de instalação cadastrados na planta industrial. Esses locais possuem identificadores únicos e representam a estrutura física dos ativos dentro da unidade operacional, permitindo associar equipamentos, históricos de intervenção, ordens de manutenção e demais registros técnicos ao respectivo ponto da planta.

Cada local de instalação deve estar vinculado a um Código ABC, parâmetro utilizado para representar a criticidade do ativo em relação ao processo produtivo. No contexto analisado, a classificação “A” representa ativos de alta criticidade, cuja falha pode provocar interrupção imediata da produção; a classe “B” engloba ativos de criticidade intermediária, com impacto relevante, porém menos severo; enquanto a classe “C” representa ativos de menor criticidade operacional. Também foram identificados códigos complementares, como D, E, F e G, associados a níveis decrescentes de impacto sobre o processo.

Durante a análise da base extraída, observou-se que determinados locais de instalação não possuíam o atributo de criticidade preenchido nativamente no SAP. Para tratar essa lacuna e evitar priorizações indevidas, adotou-se a classificação “Z” para os registros sem Código ABC válido. Essa estratégia posiciona tais registros ao final da hierarquia de criticidade, impedindo que locais sem parametrização original sejam priorizados à frente de ativos cuja criticidade se encontra devidamente cadastrada e validada na planta.

3.1.2 Centros de Trabalho

Além dos locais de instalação, a correta modelagem dos centros de trabalho é fundamental para que a programação semanal represente adequadamente a capacidade operacional disponível. No contexto da manutenção industrial, os centros de trabalho são utilizados para organizar as especialidades técnicas responsáveis pela execução das atividades, permitindo distinguir áreas como elétrica, mecânica, instrumentação, refrigeração, civil, entre outras.

No SAP PM, eles podem assumir diferentes funções dentro do processo de manutenção. Os centros de trabalho principais são utilizados para representar agrupamentos administrativos ou áreas responsáveis pela gestão das ordens. Os centros de trabalho executantes representam

as especialidades efetivamente responsáveis pela execução das operações, sendo utilizados para registrar o planejamento técnico, a disciplina requerida, a duração prevista e a quantidade de executantes necessária para cada atividade. No Quadro 1, podemos visualizar exemplos de centros de trabalho de executantes e principais.

Quadro 1 – Centros de trabalho

Centro de Trabalho	Empresa	Descrição	Tipo
MAC-PER	Empresa A	Chefe Pedreiros	Principal
PER-PED	Empresa A	Pedreiro de Apoio	Executante
PRD-ELE	Empresa A	Manutenção Predial Elétrica	Executante
PRD-ELT	Empresa A	Manutenção Predial Eletron/Telefonia	Executante
PRD-PRD	Empresa A	Chefe Manutenção Predial	Principal
PRD-RFG	Empresa A	Manutenção Predial Refrigeração	Executante

Fonte: Autor

Para o sistema desenvolvido, os centros de trabalho executantes assumem papel central na lógica de alocação, pois funcionam como critério de compatibilidade entre a operação da ordem e o colaborador disponível. Dessa forma, uma operação somente pode ser atribuída a um funcionário cuja disciplina cadastrada corresponda ao centro de trabalho requerido pela operação. Essa regra evita desvios de especialidade e garante que a programação respeite as restrições técnicas da equipe.

A base de centros de trabalho, portanto, permite estruturar a relação entre as atividades extraídas do SAP e os recursos humanos disponíveis para execução. Com isso, a grade de programação gerada pelo sistema pode ser organizada por colaborador, disciplina técnica, ordem de manutenção, operação e dia da semana, assegurando maior aderência entre a demanda de serviços e a capacidade real da equipe.

3.1.3 Ordens de Manutenção

A carteira de ordens de manutenção representa a base principal de serviços a serem avaliados pelo sistema. Essa base foi obtida por meio da transação IW38 do SAP PM, a partir da aplicação de filtros definidos conforme a necessidade do usuário, como centros de trabalho, tipos de ordem, planos de manutenção e demais critérios operacionais.

Após a extração, os dados foram organizados em uma planilha contendo informações relevantes para a programação, como número da ordem, texto breve, local de instalação, centro de trabalho principal, prioridade, status do usuário, plano de manutenção, Código ABC e data

de criação da nota. Esses campos são utilizados nas etapas posteriores de tratamento, filtragem e ordenação das atividades.

Os status das ordens indicam a situação administrativa de cada registro dentro do fluxo de manutenção do SAP, permitindo identificar se a ordem está aberta, planejada, liberada, pendente, em execução ou em outra condição específica. Para o sistema desenvolvido, esses status são fundamentais para diferenciar ordens aptas à programação daquelas que ainda possuem pendências técnicas ou administrativas. Alguns dos diferentes status presentes na base são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Alguns status das ordens de manutenção

Status	Descrição
ABER	Ordem aberta
ACAM	Aguardando cadastro de material
ADCD	Aguardando decisão Chefe Departamento
ADEQ	Aguardando disponibilidade de equipamento
AMAE	Aguardando material de estoque
AMAT	Ordem no aguardo de material
CANC	Ordem cancelada
EXEC	Ordem em execução
OAGP	Ordem aguardando grande parada
OLIB	Ordem liberada para programação
OOMP	Oportunidade de melhoria de planejamento
PLAN	Ordem planejada
REAL	Ordem realizada

Fonte: Autor

Além desses parâmetros, a planilha extraída permite identificar as ordens relacionadas à segurança (ROS), que possuem uma codificação específica em determinadas colunas da base de dados para diferenciá-las das manutenções rotineiras. Outra informação disponível é o vínculo com os Planos de Manutenção; ordens que apresentam um número identificador nesta coluna são aquelas geradas automaticamente pelo cronograma de manutenção preventiva da planta. O Quadro 3 apresenta uma amostra do banco de dados extraído da carteira de ordens de manutenção.

3.1.4 Operações das Ordens de Manutenção

Complementarmente à lista de ordens, extrai-se a planilha denominada "Ordens - Operações" que fornece o detalhamento técnico em formato de passo a passo das tarefas contidas em cada Ordem de Manutenção. No sistema SAP, uma ordem pode ser subdividida em diversas operações, que representam as etapas específicas necessárias para a conclusão de

um serviço. A estrutura desta base de dados permite identificar os requisitos individuais de cada operação, apresentando as seguintes informações extraídas do ERP:

- **Esforço em homem-hora (HH)** - indica o tempo previsto para a execução de cada etapa da atividade.
- **Quantidade de executantes** - define o número de técnicos necessários simultaneamente para a realização de uma operação específica.
- **Centro de trabalho executante** - especifica a especialidade técnica ou a equipe responsável pela tarefa, como mecânica, elétrica ou lubrificação.
- **Sequenciamento de tarefas** - apresenta o passo a passo operacional, permitindo distinguir serviços simples de intervenções complexas que exigem múltiplas etapas.

Esta base de dados possui um vínculo direto com a planilha de ordens através do número identificador da ordem de serviço, garantindo a integridade da informação técnica. O Quadro 4 apresenta alguns exemplos de registros.

Quadro 3 – Amostra da planilha de ordens de manutenção

Ordem	Texto breve	Loc. instalação	CenTrabPr inc.	Prioridade	Status usuário	Plano manut.	Código ABC	Data criação da nota
91739727	*REV.ANTIACIDO*TA NQUES DE INSUMO* RECUPE	01-OXI-SINSU-TQ16	MAC-PER	P4 até 14 dias	ABER ADPC		A	26/12/2024
91736739	*CALD.CIV* 142-REPARAR PORTA DO CCM-FORN	02-140-142-SELE-SEL01	MAC-PER	P3 até 07 dias	ABER ADPC			26/12/2024
91773248	REALIZAR INSPEÇÃO EM PANELAS VPM	01-MET	MAC-PER	P3 até 07 dias	ABER	85961	A	25/01/2025
91821000	ROS-7855-INSTALAR GUARDA CORPO	02-140-142-FUN3-SFPE3-FE03	MAC-PER	P7 até 07 dias (ROS)	ABER OLIB PLAN		A	30/01/2025
91775335	DES*FALTA PONTOS DE ENERGIA	02-140-142-FUN3-SFPE3	PRD-PRD	P3 até 07 dias	ABER			03/02/2025
91775720	Instalação de cancelas nos portões	01-UTI-SPANA	PRD-PRD	P3 até 07 dias	ABER AGSO		A	03/02/2025
91776839	RACHADURA PAREDE COORDENAÇÃO SERVIÇO MÊD	01-UTI-SAMBM-SPRED	MAC-PER	P4 até 14 dias	ABER ACAM		C	03/02/2025
91776238	GRADE SOLTANDO	02-150-151-SALA-SLOP1	PRD-PRD	P3 até 07 dias	ABER PLAN			05/02/2025
91778386	MARCAÇÃO DE ÁREA CONTROLADA NA FRENTE	02-120-125-SELE-SEL01	MAC-PER	P5 até 28 dias	ABER OLIB			10/02/2025
91777464	*PTG*INSPEÇÃO EM COBERTURA E TAPAMENTO	01-MET-SUTIL	MAC-PER	P4 até 14 dias	ABER OLIB PLAN	78082	A	10/02/2025
91777589	Pinturas paredes e demarcações	02-110-110-LABO-SLAMO-EMG	MAC-PER	P5 até 28 dias	ABER EXEC			10/02/2025

Fonte: Autor

Quadro 4 – Amostra da planilha de operações das ordens de manutenção

Ordem	Operação	TxtDesc.Oper.	Loc.instalação	Centro trabalho	Número	Trabalho	Duração normal	Texto Prioridade
91812723	0010	*MELHOR*SEG* CONSTRUÇÃO DE BASE CIVIL P A	02-400-436	ALO-CHF	0	0	0	P5 até 28 dias
91750287	0010	RETIRAR CALHA DANIFICADA NA COBERTURA DO	02-150-152	CAR-CAR	1	4	4	P3 até 07 dias
91750249	0030	CONFECCIONAR FORMAS	02-140-141-DFIL-SETB1-AG13	CAR-CAR	1	8	8	P5 até 28 dias
91749627	0030	CONFECCIONAR FORMAS	02-140-141-DFIL-SETB1-AG14	CAR-CAR	1	8	8	P4 até 14 dias
91738162	0030	MONTAR FORMA PARA PISO	02-140-141-DFIL-SETB1	CAR-CAR	1	8	8	P2 até 02 dias
91789627	0010	RETIRAR FORRO PARA AVALIAR TUBULAÇÃO	02-170-171-ADM1-SLA01-EST01	CAR-CAR	1	4	4	P5 até 28 dias
91788272	0020	CONFECCIONAR GRADE DE MADEIRA	02-140-145-SALA	CAR-CAR	1	8	8	P3 até 07 dias
91797541	0100	FABRICAR ESCADA MADEIRA	02-140-140-OFIC	CAR-CAR	0	0	0	P5 até 28 dias
91797436	0180	FABRICAR ESCADA MADEIRA	02-120-125-OFIC	CAR-CAR	1	8	8	P5 até 28 dias
91804562	0020	RETIRAR FORRO	01-MAM-SOFPI	CAR-CAR	1	4	4	P2 até 02 dias
91834936	0010	RETIRAR FORRO DE PVC	01-NBM-SUTIL-SE01	CAR-CAR	2	8	4	P3 até 07 dias

Fonte: Autor

3.1.5 Capacidade Operacional

A planilha de capacidade operacional contém o cadastro dos colaboradores, suas respectivas disciplinas técnicas e a disponibilidade diária de horas ao longo da semana. A estrutura cadastral prevista para entrada dessas informações é apresentada no Quadro 5, no qual os valores numéricos associados aos dias da semana indicam o total de horas disponíveis por colaborador.

Quadro 5 – Modelo da planilha de cadastro de funcionários e capacidades

Nome	Disciplina (centro de trabalho)	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Marcos	PRD-ELT	8	8	8	8	8
Paulo	PRD-ELT	8	8	8	8	8
João	PRD-INS	8	0	4	0	8
Carlos	PRD-ELE	8	8	6	8	4

Fonte: Autor

Essa base fornece as restrições operacionais em horas e por especialidade, permitindo representar variações de disponibilidade entre os colaboradores, como dias sem jornada cadastrada ou cargas reduzidas em determinados períodos da semana. Dessa forma, o sistema evita a superalocação de trabalho e respeita os limites individuais de capacidade definidos para cada dia.

3.1.6 Ordens Reservadas

Finalmente, a última planilha diz respeito a ordens manualmente selecionadas pelo programador (usuário do sistema), a fim de flexibilizar a solução no sentido de levar em conta decisões estratégicas da empresa, que não se enquadrariam no critério de priorização automático. Ela possui apenas uma coluna, na qual podem ser informadas uma ou mais ordens reservadas, identificadas pelo número da ordem de manutenção.

3.1.7 Visão geral das planilhas de entrada

Um modelo geral das planilhas de entrada é apresentado abaixo no diagrama de classes da Figura 3. As relações entre as planilhas também foram destacadas sob a forma de associações.

Figura 3 – Visão geral das planilhas de entrada



Fonte: Autor

Conforme descrito mais adiante, o sistema também gera planilhas intermediárias e a saída final também é na forma de planilha Microsoft Excel.

3.2 Desenvolvimento da Solução

Nesta seção, detalha-se a implementação do protótipo para o processamento das ordens de manutenção. O sistema foi concebido para apoiar de forma semiautomática a tomada de decisão baseada em regras pré-estabelecidas pelo Planejamento e Controle da Manutenção.

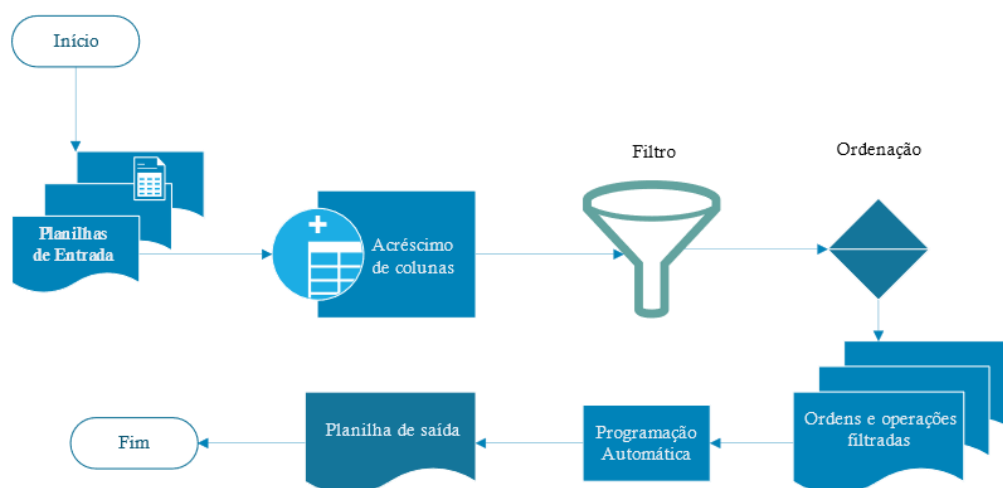
O processo da solução estruturada compreende, fundamentalmente, quatro grandes fases sequenciais:

1. **Entrada e carregamento de dados:** recepção e leitura das planilhas brutas extraídas do sistema ERP (como as listagens de ordens e operações) e das planilhas preenchidas pelo usuário.

2. **Tratamento e enriquecimento:** manipulação inicial dos dados e acréscimo de colunas estratégicas necessárias para a tomada de decisão.
3. **Filtragem e priorização logística:** aplicação das regras para filtrar as ordens e ordenar as atividades de acordo com a criticidade e disponibilidade.
4. **Algoritmo de alocação e geração de resultados:** execução do algoritmo de programação e exportação dos dados tratados para uma planilha de saída consolidada.

A Figura 4 ilustra de forma panorâmica o fluxo de dados e a sequência de blocos lógicos que compõem a arquitetura da solução desenvolvida.

Figura 4 – Fluxograma do sistema



Fonte: Autor

A arquitetura adotada segue uma abordagem sequencial determinística, na qual a saída de cada etapa constitui a entrada da etapa subsequente, garantindo rastreabilidade e separação de responsabilidades.

O sistema foi desenvolvido em Python 3 e usa a biblioteca pandas para a leitura e manipulação das planilhas em formato Microsoft Excel (XLSX).

3.2.1 Entrada e Carregamento de Dados

Nesta primeira etapa, as planilhas são lidas como DataFrames do pandas, e algumas colunas estratégicas são marcadas como índices para permitir acesso mais rápido aos registros, sem a necessidade de iteração.

3.2.2 Tratamento e Extensão de Dados

Os dados brutos obtidos na etapa anterior não apresentam, de forma consolidada, todas as informações necessárias para a tomada de decisão. O Código ABC, por exemplo, eventualmente aparece vazio na planilha de ordens, mas pode ser obtido a partir da associação entre a planilha de ordens de manutenção e a base de locais de instalação, completando a coluna. Para os casos em que o código não é encontrado em nenhuma das fontes, atribui-se o código Z.

Além da criticidade, a base de ordens é estendida com colunas auxiliares utilizadas pelo algoritmo, em particular a identificação de ordens relacionadas à segurança e a marcação de ordens reservadas pelo programador. As ordens de segurança são reconhecidas a partir da análise da prioridade e do texto breve da ordem, enquanto as ordens reservadas são identificadas por meio da planilha complementar preenchida pelo usuário.

Esse processo gera uma base de dados enriquecida, sem alterar os arquivos originais exportados do SAP, reunindo em uma única estrutura os principais parâmetros utilizados nas etapas posteriores de filtragem, priorização e alocação das atividades.

3.2.3 Identificação de Ordens de Segurança

Dada a criticidade das atividades relacionadas à segurança, o sistema realiza a identificação automática das ordens classificadas como ROS. Essas ordens recebem tratamento prioritário na fila de programação, uma vez que podem envolver riscos à integridade de pessoas, ativos ou instalações.

A identificação é realizada por meio de dois campos principais da planilha de ordens: a prioridade e o texto breve. O primeiro mecanismo verifica a presença da sigla ROS na coluna de prioridade, quando essa informação está estruturada no SAP. O segundo mecanismo analisa o texto breve da ordem, permitindo reconhecer registros em que a sigla foi inserida manualmente na descrição do serviço.

Para tornar essa verificação mais robusta, o algoritmo utiliza expressão regular aplicada ao campo “Texto breve”, permitindo identificar a sigla ROS em casos nos quais ela aparece antecedida por caracteres separadores e seguida por hífen ou espaço. Além disso, também são reconhecidas ocorrências em que o texto breve se inicia diretamente com a sigla ROS.

3.2.4 Qualificação e Filtragem de Status Operacionais

Após o enriquecimento da base de dados, o sistema executa uma etapa de filtragem para garantir que apenas ordens administrativamente aptas sejam consideradas na programação

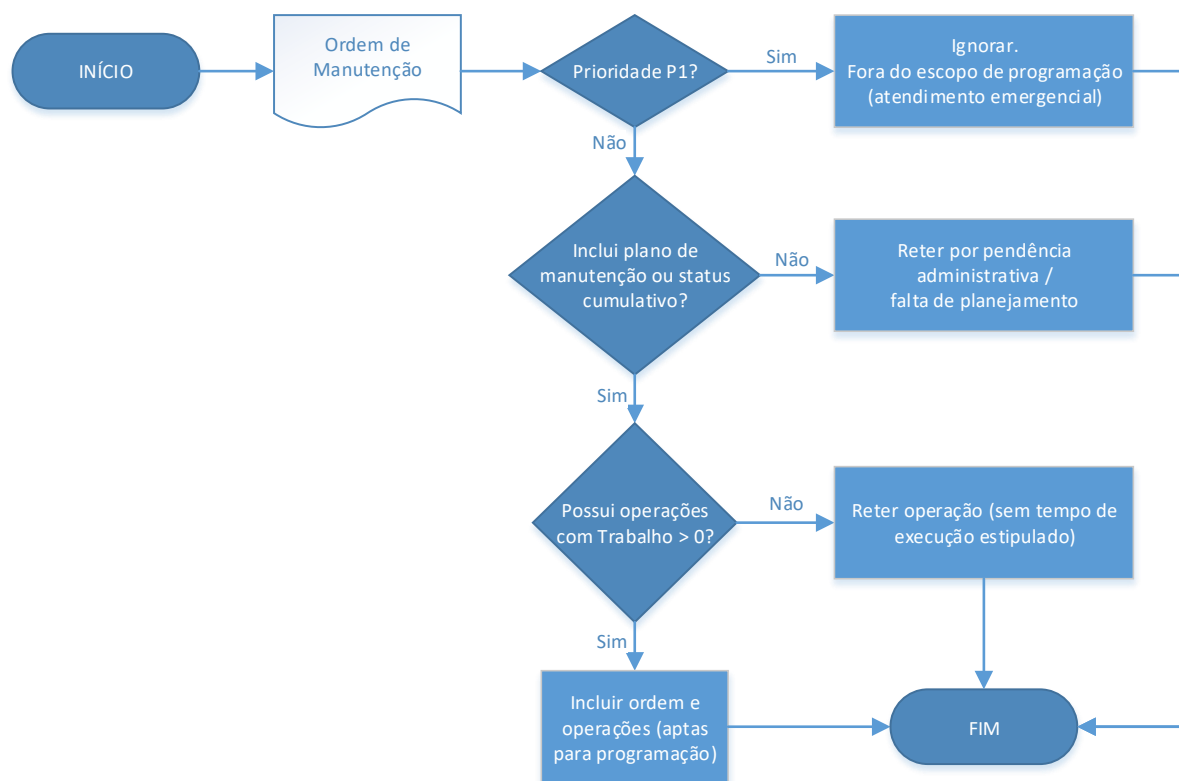
semanal. Essa etapa evita que atividades emergenciais, incompletas ou sem condições de execução sejam encaminhadas ao algoritmo de alocação.

Inicialmente, são removidas as ordens de prioridade P1, por representarem atendimentos emergenciais que demandam atuação imediata e, portanto, não pertencem ao escopo da programação semanal. Em seguida, o sistema mantém as ordens que possuem vínculo com plano de manutenção ou que apresentam simultaneamente os status ABER, OLIB e PLAN, indicando que a ordem está aberta, liberada e planejada.

Após a filtragem das ordens, o sistema aplica um segundo filtro sobre a base de operações, mantendo apenas os registros vinculados às ordens qualificadas e que apresentam tempo de execução superior a zero. Dessa forma, são removidas operações sem esforço real de mão de obra, como linhas meramente informativas ou registros sem duração planejada.

Esse processo funciona como um funil de viabilidade, assegurando que a etapa de alocação utilize somente atividades compatíveis com os critérios definidos para a programação semanal. O critério de qualificação pode ser visto de forma simplificada conforme Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma de filtragem das ordens de manutenção



Fonte: Autor

Conforme explicado previamente, o sistema também permite a inclusão de ordens reservadas pelo programador, utilizadas para atender necessidades estratégicas específicas. Ainda assim, essas ordens também são submetidas aos critérios de filtragem, garantindo que apenas atividades em condições administrativas e técnicas adequadas sejam encaminhadas para a etapa de priorização e alocação. Dessa forma, o processo reduz a programação de ordens com pendências e contribui para maior aderência da grade semanal gerada.

3.2.5 Estrutura de Ordenamento e Regra Hierárquica de Priorização

Após a filtragem das ordens aptas, o sistema organiza a carteira qualificada em uma fila única de prioridade. Essa ordenação tem como objetivo definir a sequência em que as atividades serão avaliadas pelo algoritmo de alocação, garantindo que os serviços mais relevantes sejam processados antes das demandas de menor impacto.

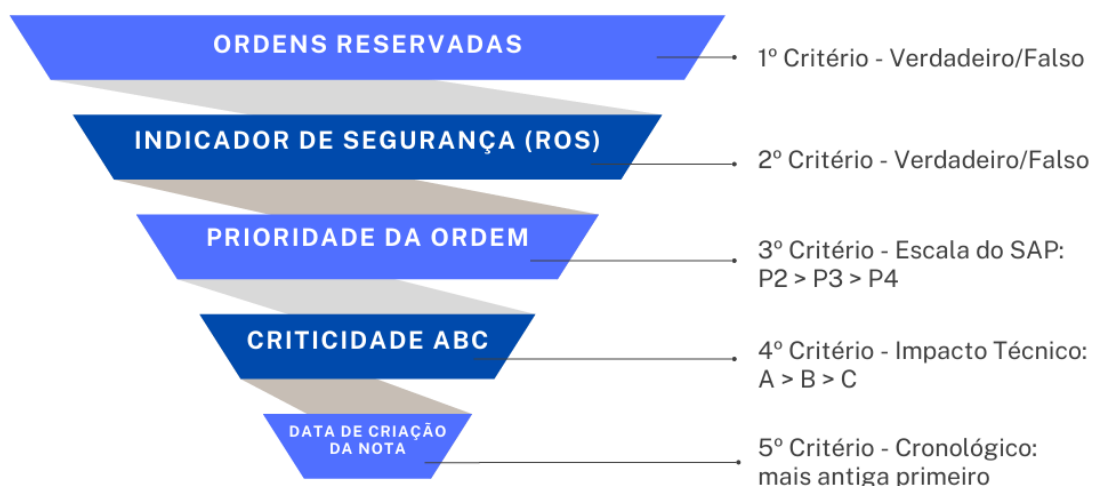
O método adotado caracteriza-se como uma heurística de priorização multicritério, pois utiliza regras previamente definidas para ordenar as ordens de forma sequencial, sem realizar busca por todas as combinações possíveis. A ordenação segue uma hierarquia composta por cinco critérios sucessivos de desempate:

1. **Ordens reservadas** - são posicionadas no início da fila, garantindo que qualquer decisão estratégica ou urgência apontada previamente pelo programador humano tenha preferência total no atendimento.
2. **Indicador de segurança (ROS)** - em caso de igualdade no critério anterior, o sistema prioriza as atividades que envolvem riscos à integridade física de pessoas ou ativos, assegurando o cumprimento das metas de segurança da empresa.
3. **Prioridade da ordem** - serve como terceiro fator de organização, seguindo a escala padrão do SAP (como prioridades P2, P3 e P4), de modo que os prazos operacionais mais curtos passem à frente.
4. **Criticidade ABC do ativo** - atua como critério técnico de desempate, posicionando primeiro as ordens cujos locais de instalação pertençam às áreas de maior impacto produtivo na planta.
5. **Data de criação da nota** - é o critério cronológico final de desempate, que prioriza os serviços que estão há mais tempo aguardando na carteira, evitando o envelhecimento excessivo do backlog.

Essa ordenação em cascata gera uma sequência lógica e previsível para o algoritmo de alocação, reduzindo decisões arbitrárias e garantindo que a programação siga os critérios

definidos pelo PCM. A Figura 6 apresenta o esquema hierárquico utilizado para ordenação da fila de ordens.

Figura 6 – Diagrama hierárquico dos critérios de ordenação da fila de ordens



Fonte: Autor

Diante da estrutura multicritério estabelecida, torna-se interessante observar como o algoritmo se comporta na resolução de conflitos de alocação quando múltiplas tarefas demandam atendimento simultâneo. Para fins de validação e demonstração analítica desse encadeamento lógico, o Quadro 6 simula um cenário prático de desempate envolvendo duas ordens de manutenção concorrentes. A análise detalha como o motor computacional varre sequencialmente cada nível da cascata de priorização, identificando o exato momento em que a ambiguidade é desfeita e a precedência na fila de programação é atribuída, assegurando a previsibilidade e a robustez técnica do fluxo de PCM.

Quadro 6 – Exemplo prático do fluxo de desempate e ordenação da fila

Variável de análise	Ordem A (91739000)	Ordem B (91744000)	Critério de decisão do algoritmo
1º Critério: Reservada?	Não	Não	Empate: Ambas seguem o fluxo normal.
2º Critério: É ROS?	Não	Não	Empate: Nenhuma envolve risco direto à segurança.
3º Critério: Prioridade	P3	P3	Empate: Ambas possuem o mesmo prazo no SAP.
4º Critério: Classe ABC	A (Crítico)	B (Médio)	Desempate Técnico: A Ordem A é posicionada à frente na fila devido à maior criticidade do ativo.
5º Critério: Data da Nota	10/05/2026	01/05/2026	Não alcançado (Decidido no 4º critério).
Resultado na Fila	1ª Posição	2ª Posição	Ordem A tem preferência na alocação de HH.

Fonte: Autor

3.2.6 O Algoritmo de Alocação de Recursos

Com a fila de ordens devidamente filtrada e priorizada, o sistema executa o algoritmo de alocação de recursos, responsável por distribuir as operações ao longo da semana conforme a capacidade disponível dos colaboradores.

O algoritmo percorre a fila de operações de forma sequencial, respeitando a ordem de prioridade definida na etapa anterior. A distribuição é realizada ao longo dos dias úteis da semana, de segunda-feira a sexta-feira, avaliando para cada operação a existência de colaboradores compatíveis e com carga horária disponível. Dessa forma, o sistema busca preencher a capacidade diária das equipes sem ultrapassar os limites de disponibilidade cadastrados, mantendo a programação aderente às restrições operacionais estabelecidas.

Para que uma atividade seja alocada a um colaborador em um determinado dia, o algoritmo valida duas restrições fundamentais de capacidade operacional:

1. **Compatibilidade de especialidades** - o sistema verifica se a disciplina do funcionário (como elétrica ou instrumentação) corresponde ao centro de trabalho executante exigido pela operação da ordem, impedindo desvios de função.
2. **Disponibilidade de tempo** - o algoritmo calcula o saldo de horas disponíveis do profissional para aquele dia específico. A tarefa só é atribuída se o tempo estimado para a sua execução for menor ou igual ao saldo de horas livre do trabalhador, respeitando rigorosamente o limite da capacidade diária.

O laço de repetição para a distribuição de serviços avança dia após dia e monitora continuamente a ocupação das equipes. O algoritmo encerra seu processamento automaticamente em duas situações: quando todas as operações viáveis forem programadas ou quando a capacidade total de trabalho da equipe para a semana estiver completamente preenchida.

3.2.7 Lógica de Alocação Simultânea

Algumas operações de manutenção exigem a participação simultânea de mais de um colaborador, seja por necessidade técnica, segurança da atividade ou esforço físico envolvido. Para atender a essa condição, o sistema verifica, em cada operação, a quantidade de executantes requerida e somente realiza a alocação quando existe número suficiente de colaboradores compatíveis e disponíveis no mesmo dia.

A seleção dos colaboradores considera a compatibilidade entre a disciplina técnica do funcionário e o centro de trabalho executante da operação, além da disponibilidade de carga horária individual. Quando há mais colaboradores disponíveis do que o necessário, o algoritmo

prioriza aqueles cuja alocação resulta em melhor aproveitamento da capacidade diária, reduzindo sobras de tempo não utilizadas e contribuindo para uma distribuição mais eficiente da jornada.

Dessa forma, operações que demandam múltiplos executantes são programadas apenas quando todos os recursos necessários estão disponíveis simultaneamente, evitando alocações parciais e garantindo maior coerência da grade semanal gerada.

3.2.8 Interface Gráfica e Interação com o Usuário

A última etapa consiste na construção de uma interface gráfica simples e intuitiva, visando a criação de uma ferramenta de uso prático no cotidiano corporativo. Desenvolvida com foco na simplicidade visual, a interface funciona como um Sistema de Apoio à Decisão Semiautomático. Isso significa que, embora o sistema execute automaticamente as etapas de filtragem, priorização e alocação de horas, o programador mantém autonomia para definir os dados de entrada e comandar as fases do processo.

O fluxo de interação do usuário com a ferramenta foi estruturado em uma sequência dividida em três passos operacionais distintos, dispostos claramente na tela:

1. **Definição do cenário de trabalho** - o usuário interage com um botão de seleção para apontar ao sistema em qual pasta estão armazenadas as planilhas nativas exportadas do SAP e as planilhas adicionais de capacidade operacional e ordens reservadas. O sistema faz uma varredura preventiva e só libera as etapas seguintes se identificar a presença de todos os arquivos obrigatórios.
2. **Pré-processamento** - ao acionar este comando, o algoritmo executa, em segundo plano, todas as regras do pré-processamento, como a varredura de termos de segurança, a aplicação do corte de ordens emergenciais e a limpeza de tarefas sem tempo previsto. Nesta etapa, são geradas planilhas intermediárias para as ordens e as operações filtradas e ordenadas.
3. **Processamento e geração da grade** - o comando final dispara o motor de alocação, que cruza a fila prioritária com as restrições de homem-hora e especialidades técnicas das equipes.

Ao final do fluxo, o sistema consolida o resultado, entregando ao planejador uma grade semanal estruturada, equilibrada e apta à análise e utilização pelo programador.

3.3 Ambiente de Testes e Cenário de Simulação

Para avaliar o funcionamento do sistema desenvolvido, foram realizadas simulações computacionais utilizando dados reais extraídos de uma unidade industrial de mineração localizada em Araxá-MG. Essa etapa teve como objetivo verificar o comportamento das rotinas de tratamento, priorização e alocação diante de uma carteira de serviços compatível com a realidade operacional da manutenção industrial.

O ambiente de testes foi composto por duas bases principais. A primeira correspondeu aos dados de manutenção extraídos do SAP PM, incluindo ordens de serviço e suas respectivas operações, com informações como tempos estimados, centros de trabalho, prioridades, status e locais de instalação. A segunda base consistiu no cadastro de capacidade operacional, contendo os colaboradores disponíveis, suas disciplinas técnicas e a carga horária diária ao longo da semana.

A partir do cruzamento dessas informações, o sistema foi submetido a três cenários de simulação, permitindo avaliar sua capacidade de filtrar ordens, respeitar critérios de prioridade e gerar uma programação semanal compatível com as restrições de mão de obra disponíveis.

3.4 Critérios de Avaliação de Desempenho do Sistema

A etapa final consiste na definição dos critérios utilizados para avaliar o desempenho do sistema desenvolvido e a qualidade das programações geradas. Essa avaliação tem como objetivo verificar a viabilidade prática da solução proposta e mensurar seus efeitos sobre a organização da programação semanal de manutenção. Para isso, o sistema foi analisado com base em três indicadores complementares:

1. **Taxa de ocupação da equipe** - representa o percentual de horas disponíveis efetivamente preenchidas com operações de manutenção programadas. Esse indicador permite avaliar o aproveitamento da capacidade de mão de obra cadastrada, considerando as restrições de disponibilidade diária e de compatibilidade entre especialidade do colaborador e centro de trabalho executante.
2. **Respeito à hierarquia de prioridades** - verifica se a programação gerada manteve a lógica de ordenamento estabelecida, considerando ordens reservadas, atividades relacionadas à segurança, prioridade da ordem, criticidade ABC do ativo e data de criação da nota.
3. **Tempo de processamento computacional** - mensura o tempo necessário para execução das etapas de filtragem, priorização e alocação das operações. Esse indicador permite

comparar o esforço computacional do sistema com o tempo normalmente demandado no processo manual de programação, servindo como referência para avaliar o ganho de produtividade administrativa.

A análise conjunta desses critérios permite avaliar se o sistema é capaz de gerar programações coerentes com as restrições operacionais cadastradas, contribuindo para a organização da carteira de serviços e para o apoio à tomada de decisão no contexto do PCM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir de três sessões de uso realizadas com o protótipo do sistema desenvolvido. A análise busca avaliar o desempenho das rotinas de tratamento, validar a filtragem, priorização e alocação de recursos diante de bases reais extraídas do SAP PM. Para isso, os resultados são discutidos com base nos critérios definidos na metodologia, contemplando a capacidade de triagem dos dados, a ocupação das equipes técnicas, o respeito à hierarquia de prioridades e o tempo de processamento.

4.1 Carteira de Ordens Extraídas

A primeira etapa da análise consistiu na avaliação da carteira inicial de ordens extraídas do SAP PM. Essa base representa o conjunto bruto de demandas de manutenção disponíveis no momento da extração, contendo ordens de diferentes tipos, prioridades, status e condições administrativas.

Após a aplicação das regras de tratamento e filtragem descritas na metodologia, a carteira inicial foi reduzida às ordens consideradas aptas para a programação semanal. Esse processo removeu registros que não atendiam aos critérios estabelecidos, como ordens emergenciais de prioridade P1, ordens sem condição administrativa adequada e registros não compatíveis com o escopo da programação proposta.

A análise também foi realizada no nível das operações, uma vez que uma mesma ordem pode conter uma ou mais atividades executáveis. Nessa etapa, foram mantidas apenas as operações vinculadas às ordens qualificadas e com tempo de trabalho superior a zero, evitando que registros sem demanda efetiva de mão de obra fossem considerados pelo algoritmo de alocação.

Dessa forma, a etapa de filtragem permitiu transformar a carteira inicial em uma base operacional mais consistente, composta apenas por atividades compatíveis com os critérios definidos para a programação semanal. O resultado consolidado dessa triagem, em termos de números de registros removidos e mantidos, é apresentado na Tabela 1, para os três cenários.

Tabela 1 – Filtragem de ordens

Condição da Ordem / Etapa de Filtro	Cenário 1 (Qtd. / %)	Cenário 2 (Qtd. / %)	Cenário 3 (Qtd. / %)
Carteira bruta inicial	2413 / 100,00%	1389 / 100,00%	1224 / 100,00%
Remoção por emergência (P1)	39 / 1,62%	17 / 1,22%	43 / 3,51%
Remoção por status inválido / sem plano de manutenção	1180 / 48,90%	564 / 40,61%	315 / 25,74%
Carteira qualificada líquida	1194 / 49,48%	808 / 58,17%	866 / 70,75%

Fonte: Autor

No Cenário 1, dos 2.413 registros importados, 1.194 ordens avançaram para a etapa seguinte, correspondendo a 49,48% da carteira inicial. Nos Cenários 2 e 3, as carteiras qualificadas representaram, respectivamente, 58,17% e 70,75% dos registros analisados.

Esses resultados indicam que o volume inicial de ordens disponível no ERP não representa, necessariamente, a quantidade de serviços efetivamente aptos à programação semanal. Observa-se que a remoção de ordens emergenciais P1 apresentou baixa representatividade percentual nos três cenários, variando entre 1,22% e 3,51%, o que é coerente com o escopo do sistema, voltado à programação planejada e não ao atendimento imediato.

O principal fator de redução da carteira esteve associado ao filtro de status e planos de manutenção, responsável pela remoção de 1.180 ordens no Cenário 1, 564 no Cenário 2 e 315 no Cenário 3. Essas ordens não possuíam vínculo com plano de manutenção nem apresentavam simultaneamente os status exigidos. Após a conclusão das etapas de planejamento e liberação pelo planejador, elas poderão ser consideradas novamente nas programações das semanas seguintes.

Dessa forma, a etapa de filtragem contribuiu para qualificar a base utilizada pelo algoritmo de alocação, evitando que ordens sem condição adequada de execução fossem consideradas na formação da grade semanal.

Após a análise de viabilidade das ordens de manutenção, a avaliação passou para o nível das operações, uma vez que cada ordem pode possuir uma ou mais atividades executáveis. Nessa etapa, foram aplicados filtros específicos para manter apenas operações vinculadas às ordens qualificadas e com tempo de trabalho superior a zero. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Filtragem de operações das ordens

Condição da Operação / Etapa de Filtro	Cenário 1 (Qtd. / %)	Cenário 2 (Qtd. / %)	Cenário 3 (Qtd. / %)
Base bruta inicial de operações	4662 / 100,00%	2040 / 100,00%	3096 / 100,00%
Descarte por eliminação da ordem na etapa anterior	2173 / 46,61%	953 / 46,72%	937 / 30,26%
Descarte por tempo estimado zerado	307 / 6,58%	31 / 1,52%	384 / 12,40%
Carteira de operações qualificadas	2182 / 46,80%	1056 / 51,76%	1775 / 57,33%

Fonte: Autor

No Cenário 1, a base inicial de 4.662 operações resultou em 2.182 operações qualificadas, correspondendo a 46,80% do total. No Cenário 2, das 2.040 operações iniciais, 1.056 foram mantidas, representando 51,76%. No Cenário 3, foram qualificadas 1.775 operações a partir de uma base inicial de 3.096 registros, resultando no maior rendimento proporcional, com 57,33%.

O principal fator de redução esteve associado à remoção de operações vinculadas a ordens rejeitadas na etapa anterior. Esse filtro eliminou 2.173 operações no Cenário 1, 953 no Cenário 2 e 937 no Cenário 3. Esse comportamento demonstra a importância de manter a coerência entre a base de ordens e a base de operações, evitando que atividades pertencentes a ordens não qualificadas sejam encaminhadas para a etapa de alocação.

Além disso, foram removidas operações com tempo estimado igual a zero, totalizando 307 registros no Cenário 1, 31 no Cenário 2 e 384 no Cenário 3. Esse filtro é relevante porque impede que linhas sem demanda efetiva de mão de obra sejam consideradas na programação semanal. Dessa forma, esta etapa contribui para que o algoritmo trabalhe apenas com atividades que representam esforço real de execução.

A redução da quantidade de registros nas planilhas de entrada é, por si só, de grande relevância para a rotina de programação.

4.2 Capacidade e Ocupação da Equipe Técnica

A avaliação da capacidade e ocupação da equipe técnica foi realizada a partir dos três cenários. Cada um deles foi composto por uma base própria de ordens de manutenção, operações, ordens reservadas, cadastro de funcionários e programação semanal gerada pelo sistema. Essa abordagem permitiu analisar o comportamento do algoritmo diante de diferentes carteiras de serviços e diferentes configurações de disponibilidade de mão de obra.

Para cada cenário, foram calculadas a capacidade semanal disponível da equipe, as horas efetivamente programadas pelo sistema, a folga residual e a taxa global de ocupação. Esses indicadores permitem verificar se o algoritmo foi capaz de aproveitar a capacidade cadastrada sem ultrapassar os limites individuais de jornada e respeitando as restrições de especialidade técnica, conforme esperado pela implementação realizada.

Tabela 3 – Ocupação global da equipe técnica nos três cenários

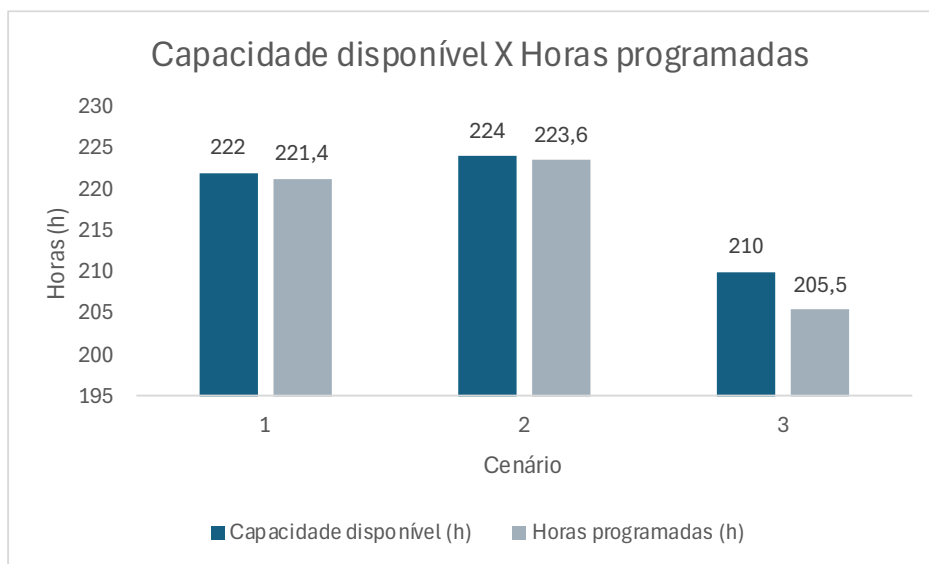
Cenário	Capacidade disponível (h)	Horas programadas (h)	Folga residual (h)	Ocupação global (%)
1	222,0	221,4	0,6	99,73
2	224,0	223,6	0,4	99,82
3	210,0	205,5	4,5	97,86

Fonte: Autor

Os resultados apresentados na Tabela 3 revelam que o sistema alcançou elevado aproveitamento da capacidade cadastrada nos três cenários avaliados. Nos cenários 1 e 2, a ocupação global ficou acima de 99%, indicando que praticamente toda a carga horária disponível foi preenchida por operações programadas. No cenário 3, embora a ocupação tenha sido ligeiramente inferior, o índice permaneceu elevado, atingindo 97,86% da capacidade disponível.

Para complementar a análise quantitativa, a Figura 7 apresenta a comparação gráfica entre a capacidade semanal disponível e o total de horas programadas em cada cenário. Essa representação permite visualizar a proximidade entre a carga horária cadastrada e a carga efetivamente alocada pelo sistema.

Figura 7 – Comparação entre capacidade disponível e horas programadas nos cenários simulados



Fonte: Autor

A comparação entre a capacidade disponível e as horas programadas evidencia que o algoritmo manteve a alocação dentro dos limites de jornada definidos para cada cenário. Em todos os casos, as horas programadas permaneceram abaixo ou praticamente equivalentes à capacidade disponível, demonstrando que não houve extrapolação da carga horária cadastrada. A maior folga observada no cenário 3 decorre das restrições combinadas de prioridade, especialidade técnica, disponibilidade e duração das operações existentes na carteira.

Além da análise em horas, também foi avaliado o volume de serviços efetivamente programados em cada cenário. Essa verificação permite complementar a taxa de ocupação da equipe, indicando quantas alocações, operações e ordens foram contempladas pela programação gerada.

Tabela 4 – Volume de alocações, operações e ordens programadas por cenário

Cenário	Alocações geradas	Operações únicas programadas	Ordens programadas
1	48	37	24
2	63	36	30
3	58	54	42

Fonte: Autor

A análise do volume programado mostra que o Cenário 3, mesmo apresentando menor taxa de ocupação global, teve a maior quantidade de operações únicas e ordens programadas. Esse resultado indica que a taxa de ocupação não deve ser interpretada isoladamente, pois a composição da carteira de serviços influencia diretamente o aproveitamento da capacidade. Cenários com operações de menor duração ou maior fragmentação podem gerar maior número de ordens programadas, ainda que mantenham alguma folga residual de horas.

De forma geral, os três cenários demonstram que o sistema foi capaz de gerar programações semanais aderentes às restrições operacionais cadastradas, aproveitando de forma elevada a capacidade disponível sem gerar sobrecarga da equipe. A existência de pequenas folgas residuais é compatível com a lógica adotada pelo algoritmo, que preserva a ordem de prioridade da carteira e não realiza reordenação global com o objetivo exclusivo de preencher integralmente a carga horária. Dessa forma, os resultados obtidos indicam coerência entre a capacidade cadastrada, a priorização das ordens e a programação efetivamente gerada.

4.3 Validação do Ordenamento de Prioridades

Além da análise de ocupação da equipe técnica, foi avaliado se as programações geradas preservaram a lógica de priorização definida na metodologia. Essa verificação é importante porque o objetivo do sistema não se limita ao preenchimento da capacidade disponível, mas também envolve a organização da programação semanal conforme critérios previamente definidos pelo PCM.

Entre os critérios utilizados, destacam-se as ordens reservadas pelo programador, as ordens relacionadas à segurança, a prioridade operacional da ordem, a criticidade ABC do ativo e a data de criação da nota. Dessa forma, a validação do ordenamento busca verificar se a capacidade disponível foi direcionada para atividades com maior relevância estratégica, técnica ou operacional.

A Tabela 5 apresenta o atendimento das ordens reservadas informadas manualmente pelo programador em cada cenário. Esse tipo de ordem representa uma seleção estratégica de exceção e, por isso, ocupa a primeira posição na hierarquia de priorização do algoritmo.

Observa-se que, no Cenário 1, das cinco ordens reservadas informadas, duas foram efetivamente programadas. No Cenário 2, três das quatro ordens reservadas foram alocadas. No Cenário 3, todas as três ordens reservadas foram contempladas na programação semanal.

Tabela 5 – Atendimento das ordens reservadas nos cenários simulados

Cenário	Ordens reservadas	Ordens reservadas programadas	Ordens reservadas não programadas	Taxa de atendimento (%)
1	5	2	3	40,0
2	4	3	1	75,0
3	3	3	0	100,0

Fonte: Autor

É importante destacar que a classificação de uma ordem como reservada não garante sua programação automática. Essas ordens recebem prioridade na fila, porém continuam submetidas aos critérios de filtragem e às restrições de alocação, como disponibilidade de horas, compatibilidade entre especialidade técnica e centro de trabalho executante, quantidade de colaboradores exigida e duração da operação. Dessa forma, o sistema preserva a prioridade estratégica das ordens reservadas sem comprometer a viabilidade operacional da grade semanal.

Por inspeção manual das planilhas geradas, observou-se que todas as ordens reservadas não selecionadas recaem nesse caso de não terem as pré-condições plenamente atendidas.

A Tabela 6 apresenta a presença dos principais critérios de priorização nas ordens efetivamente programadas. Nos três cenários, observa-se que a grade semanal contemplou ordens relacionadas à segurança, ordens com prioridade operacional mais elevada e ordens vinculadas a ativos classificados com criticidade A.

Tabela 6 – Critérios prioritários observados nas ordens programadas

Cenário	Ordens programadas	Ordens ROS programadas	Ordens P2 ou P3 programadas	Ordens com criticidade A programadas
1	24	9	16	11
2	30	7	23	15
3	42	7	33	21

Fonte: Autor

No cenário 1, foram programadas 24 ordens, das quais 9 estavam relacionadas à segurança e 11 pertenciam a ativos classificados com criticidade A. No cenário 2, a programação contemplou 30 ordens, com destaque para 23 ordens classificadas como P2 ou P3 e 15 ordens associadas a ativos de criticidade A. Por último, no cenário 3, observou-se o maior volume de

ordens programadas, totalizando 42 ordens, sendo 33 classificadas como P2 ou P3 e 21 vinculadas a ativos de criticidade A.

Novamente, após a inspeção manual das planilhas intermediárias geradas, tem-se a confirmação de que o sistema preservou a lógica de priorização proposta, direcionando a capacidade disponível para ordens com maior relevância operacional, de segurança ou criticidade técnica. Ao mesmo tempo, observa-se que o ordenamento de prioridades atua em conjunto com as restrições operacionais de alocação, de modo que uma ordem prioritária somente é programada quando existem condições de disponibilidade, especialidade e duração compatíveis. Assim, a programação gerada mantém coerência com os critérios definidos pelo PCM sem desconsiderar os limites operacionais da equipe.

4.4 Avaliação do Tempo de Processamento

Além da análise da ocupação da equipe e do respeito aos critérios de prioridade, avaliou-se também o tempo de processamento computacional do sistema nos três cenários simulados. Esse indicador permite analisar o desempenho da ferramenta na execução das etapas de leitura, tratamento, filtragem, priorização e alocação das operações de manutenção. A análise do tempo de processamento é relevante por indicar a agilidade do sistema na execução automática das etapas necessárias à geração da programação semanal, especialmente diante de carteiras com elevado volume de ordens e operações.

A Tabela 7 apresenta o volume bruto de ordens e operações processadas em cada cenário, bem como o tempo total necessário para geração da programação semanal correspondente.

Os testes foram executados em um laptop convencional com Microsoft Windows 11.

Tabela 7 – Tempo de processamento computacional por cenário

Parâmetro de desempenho	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Volume bruto de ordens	2413	1389	1224
Volume bruto de operações	4.662	2.040	3.096
Tempo total de processamento do script	20 s	21 s	19 s

Fonte: Autor

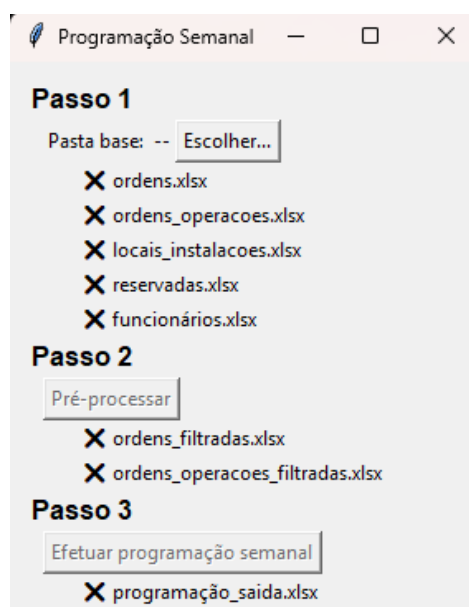
Nos três cenários avaliados, o sistema concluiu o processamento em aproximadamente 20 segundos, mesmo diante de carteiras compostas por milhares de ordens e operações. Esse processamento compreende as etapas de leitura dos dados, filtragem, priorização, alocação dos recursos e geração da programação semanal.

Embora o tempo necessário para a programação manual varie conforme a experiência do programador e a complexidade da carteira, esse processo exige a análise individual de grande quantidade de registros. Ao executar automaticamente suas principais etapas, a ferramenta reduz o tempo e o esforço despendidos nessa atividade, além de proporcionar maior padronização e reprodutibilidade à programação semanal.

4.5 Interface Gráfica e Usabilidade do Usuário

Foi desenvolvida uma interface gráfica intuitiva e de simples utilização, com o objetivo de permitir que o usuário concentre os arquivos das planilhas extraídas em uma única pasta base. A interface foi implementada em Python por meio do módulo `tkinter`. Cada sessão de uso do sistema é vinculada a uma pasta selecionada pelo usuário, na qual devem estar localizados os arquivos de entrada e onde são gerados os arquivos intermediários e a saída final, todos em formato Microsoft Excel, visando padronização e compatibilidade com práticas de uso comuns em ambientes empresariais. A Figura 8 mostra a interface desenvolvida.

Figura 8 – Interface Gráfica



Fonte: Autor

O sistema disponibiliza botões para seleção da pasta base e para acionamento das rotinas de pré-processamento e geração da programação semanal. Caso alguma planilha obrigatória esteja ausente na pasta selecionada ou apresente nomenclatura fora do padrão exigido pelo algoritmo, a interface indica os artefatos faltantes. Essa sinalização visual orienta o usuário

sobre quais pendências de dados precisam ser corrigidas antes da liberação das etapas subsequentes.

Embora não tenha sido realizada uma avaliação formal de usabilidade com múltiplos usuários, a interface desenvolvida atende ao objetivo de tornar o protótipo mais acessível ao ambiente operacional, oferecendo uma camada de interação mais adequada e convencional para o uso por profissionais do PCM.

5 CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido demonstrou capacidade de transformar dados extraídos do SAP PM em uma programação semanal estruturada, considerando critérios de filtragem, priorização e alocação de mão de obra. A partir das bases de ordens, operações, locais de instalação, ordens reservadas e capacidade dos colaboradores, foi possível organizar a carteira de manutenção em uma grade semanal compatível com as restrições operacionais definidas para o estudo.

A etapa de filtragem mostrou-se relevante para qualificar a carteira inicial de ordens, permitindo separar os registros aptos à programação daqueles que ainda apresentavam pendências administrativas, ausência de condição adequada para programação ou ausência de tempo previsto nas operações. Dessa forma, o algoritmo passou a atuar sobre uma base mais consistente, reduzindo a necessidade de análise manual ordem a ordem pelo programador.

Nos três cenários simulados, as programações geradas apresentaram elevado aproveitamento da capacidade cadastrada da equipe técnica, respeitando os limites de jornada diária dos colaboradores e a compatibilidade entre a especialidade técnica do funcionário e o centro de trabalho executante da operação. Observou-se que as pequenas folgas residuais são compatíveis com a lógica adotada pelo sistema, uma vez que o algoritmo preserva a hierarquia de prioridades e não realiza reordenação global apenas para preencher integralmente a carga horária disponível.

A análise do ordenamento das prioridades demonstrou que o sistema foi capaz de considerar critérios estratégicos e operacionais, como ordens reservadas, ordens relacionadas à segurança, prioridade da ordem, criticidade ABC do ativo e data de criação da nota. Com isso, a ferramenta contribui para tornar a programação mais padronizada, lógica e reprodutível, reduzindo decisões arbitrárias e apoiando o processo de tomada de decisão.

Em relação ao tempo despendido na tarefa, verificou-se que o processamento computacional executou de forma ágil as etapas de leitura, tratamento, filtragem, priorização e alocação das operações. Sob essa perspectiva, o resultado indica potencial de redução do esforço operacional associado à elaboração da programação semanal, especialmente em carteiras com grande volume de ordens e operações.

A interface gráfica desenvolvida também contribuiu para tornar o protótipo mais acessível ao usuário final, permitindo a seleção da pasta base, a execução do pré-processamento e a geração da programação semanal sem necessidade de manipulação direta do código-fonte. Esse

aspecto favorece a utilização da ferramenta por profissionais do PCM, aproximando o sistema de uma aplicação prática de apoio à rotina operacional.

Como limitação, destaca-se que a ferramenta foi validada por meio de simulações computacionais com bases reais, não tendo sido implantada diretamente na rotina operacional da empresa durante o período de realização deste trabalho. Além disso, o algoritmo adotado segue uma lógica sequencial baseada em regras, priorizando a aderência aos critérios definidos e às restrições operacionais, sem realizar otimização global da carteira. Portanto, os resultados obtidos devem ser interpretados como evidências da viabilidade e aplicabilidade da solução proposta, e não como garantia de solução ótima para todos os cenários possíveis.

Dessa forma, conclui-se que o sistema semiautomático desenvolvido atingiu o objetivo proposto, ao gerar programações semanais de manutenção de forma estruturada, padronizada e aderente às restrições de capacidade e prioridade definidas. A solução apresentada contribui para reduzir o esforço manual do programador, melhorar a organização da carteira de serviços e fortalecer o uso de ferramentas computacionais no apoio à tomada de decisão na manutenção industrial.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

O sistema desenvolvido abre caminho para novas melhorias e ampliações. Como continuidade deste trabalho, recomenda-se inicialmente a realização de testes reais em ciclos de programação semanal, utilizando a ferramenta em paralelo ao processo atualmente adotado pela empresa. Essa etapa permitiria comparar a programação gerada pelo sistema com a programação elaborada manualmente, identificar ajustes necessários e avaliar sua aderência às condições reais da rotina operacional.

Após essa validação prática, recomenda-se a implantação piloto da ferramenta na rotina de programação, possibilitando acompanhar seu desempenho em uso contínuo e coletar percepções dos programadores quanto à usabilidade, confiabilidade das informações e contribuição para a redução do esforço manual.

Outra possibilidade de evolução consiste na integração direta da ferramenta com o SAP, reduzindo a necessidade de exportação manual das planilhas e tornando o fluxo de dados mais automatizado. Essa integração poderia ampliar a aplicação prática do sistema e aproximá-lo de uma solução mais robusta para uso contínuo em ambiente industrial.

Além disso, trabalhos futuros podem incluir novos critérios de programação, como disponibilidade de materiais, janelas operacionais, restrições de acesso aos equipamentos,

impedimentos específicos da planta e agrupamento geográfico mais detalhado das atividades. Essas melhorias podem aumentar a aderência da ferramenta à realidade operacional da manutenção e ampliar sua aplicabilidade em diferentes contextos industriais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P. Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada. 1ª ed. – São Paulo: Érica, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462:1994 — Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BERTHOLDO. Qual a diferença entre SAP ERP, SAP HANA e S/4HANA?. 2023. Disponível em: <<https://www.bertholdo.com.br/blog/o-que-e-sap-erp/>>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- BERTI, Alessandro; PARK, Gyunam; RAFIEI, Majid; VAN DER AALST, Wil M. P. An Event Data Extraction Approach from SAP ERP for Process Mining. arXiv, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2110.03467>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- BRANCO FILHO, G. A organização, o planejamento e o controle da manutenção. 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- CLARANET. SAP HANA: o que é?. 2023. Disponível em: <<https://www.claranet.com.br/blog/sap-hana-o-que-e>>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção – Função Estratégica. 5ª ed. - Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2019.
- IBM. O que é Banco de Dados? IBM Think, 2023.
- IBM. O que é o SAP HANA?. IBM Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/sap-hana>>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/database>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- INTELLEVO. SAP PM: entenda o módulo Planejamento de Manutenção. Intellevo, 2023. Disponível em: <https://intellevo.com.br/sap-pm-entenda-o-modulo-planejamento-de-manutencao/>. Acesso em: 07 dez. 2025.
- LAFRAIA, J. R. B. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark; Petrobras, 2014.
- MIGNOW. Conheça os principais módulos SAP e suas funções. MIG-NOW, 2022. Disponível em: <https://mig-now.com/conteudos/blog/modulos-sap-e-suas-funcoes/>. Acesso em: 07 dez. 2025.
- MOSCHIN, John. Gerenciamento de parada de manutenção: um projeto de sucesso ao alcance de suas mãos. Rio de Janeiro: Brasport, 2015.
- MOUBRAY, J. Reliability Centered Maintenance. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

- NASCIF, J.; DORIGO, J. Planejamento e Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.
- ORACLE. What is a Database? Oracle Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/database/what-is-database/>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. *Revista Gestão Industrial*, v. 4, n. 2, p. 1–16, 2008.
- PIECHNICKI, A. S. Metodologias para implantação e desenvolvimento de sistemas de gestão da manutenção: as melhores práticas. 2012.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
- PEREIRA, M. J. Engenharia de manutenção: teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2019.
- RODRIGUES, L. B. Análise da aplicação do MASP para redução dos níveis de consumo de matéria prima em uma indústria fabricante de pás para aerogeradores. 2016. Monografia (Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- SAP SE. SAP: The World's Largest Provider of Enterprise Application Software. Walldorf: SAP Corporate Fact Sheet, 2024. Disponível em: <https://www.sap.com/documents/2017/04/4666ecdd-b67c-0010-82c7-eda71af511fa.html>. Acesso em: 7 jun. 2026.
- SAP. O que é o SAP HANA?. SAP Brasil, 2026. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/data-cloud/hana/what-is-sap-hana.html>>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- SIQUEIRA, I. P. Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação. São Paulo: Qualitymark, 2005.
- SEPULCRI, Raphael Mendonça. Sistema de apoio à programação de manutenção utilizando automação robótica de processos e algoritmo genético. Dissertação (Mestrado) — Instituto Federal do Espírito Santo, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/6662>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- SOUZA, J. B. Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e função do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem

analítica. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2008.

SYDLE. PCM: o que é Planejamento e Controle da Manutenção. 2023. Disponível em: <<https://www.sydle.com/br/blog/pcm-64c1458907bf1b42625f3a82>>. Acesso em: 09 dez. 2025.

TAVARES, L. Administração moderna da manutenção. Rio de Janeiro: Novo Pólo, 1999.

VIANA, H. R. G. PCM: planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WYREBSKI, J. Manutenção produtiva total – um modelo adaptado. Florianópolis: UFSC, 2007.

XENOS, H. G. d’P. Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: Falconi, 2004.