



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ EVANDO LOPES NETO

**PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADO EM RISCO PARA MÁQUINAS DE UMA
INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO DE CASO**

RUSSAS

2026

JOSÉ EVANDO LOPES NETO

PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADO EM RISCO PARA MÁQUINAS DE UMA
INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Campus Russas da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda

RUSSAS

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L853p Lopes Neto, José Evando.

Plano de manutenção baseado em risco para máquinas de uma indústria de rochas ornamentais : Um estudo de caso / José Evando Lopes Neto. – 2026.
89 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda.

1. Manutenção Industrial. 2. Manutenção Baseada em Risco. 3. Confiabilidade. 4. Rochas Ornamentais. I. Título.

CDD 620.1

JOSÉ EVANDO LOPES NETO

PLANO DE MANUTENÇÃO BASEADO EM RISCO PARA MÁQUINAS DE UMA
INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Mecânica do Campus Russas da Universidade
Federal do Ceará, como requisito à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 20/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. George Luiz Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, minha família e meus amigos.

Dedico este trabalho aos meus pais, Evanilce e Leonisio, que sempre me incentivaram, me apoiaram e estiveram comigo em todo momento. E aos meus familiares, namorada e amigos, que me motivaram a me manter na caminhada da graduação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo seu imenso amor, por ter ouvido minhas orações, por ter me dado força e coragem para prosseguir nos dias difíceis, e oportunidade de viver as coisas boas e lindas dessa caminhada. Sem ti, Senhor, nada teria sido possível.

Aos meus pais, Evanilce e Leonisio que me ensinaram o caminho que eu deveria seguir, por todos os conselhos, orientações, e pelo apoio em todos os momentos. O homem que me tornei é fruto do cuidado e do amor que vocês me deram.

Aos meus familiares, Lúzia, Eveline e Eviline, e a minha namorada, Vitória, pelo amor com que me acolheram e por todos os conselhos e orações, com todo o apoio e cuidado no qual me fazem sentir bem ao seu lado. Aos meus avós, principalmente meu avô, Evando, que sempre se orgulhou e me amou o máximo que pode, enquanto estive ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda, pela excelente orientação e ajuda oferecida ao longo deste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora, Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro e Prof. Dr. George Luiz Gomes de Oliveira pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões. Aos professores de graduação e à instituição UFC Campus Russas, por todo conhecimento de qualidade para minha formação profissional e pessoal.

À empresa de rochas ornamentais que estagiei, por todas as vivências que possibilitaram esse trabalho ser realizado. Aos colegas de graduação, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas. Esse trabalho não teria sido possível sem essas vivências.

RESUMO

No cenário atual da indústria de rochas ornamentais, a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos produtivos são fatores determinantes para a competitividade das organizações. Empresas de rochas ornamentais, localizadas no interior do Ceará, apresentam uma realidade marcada pela predominância de práticas corretivas de manutenção, o que gera atrasos produtivos, custos adicionais e redução da vida útil dos ativos. Diante disso, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo desenvolver e propor um plano de manutenção baseado em risco (RBM) voltado aos principais equipamentos utilizados na linha de produção da empresa, a fim de contribuir para a melhoria do desempenho produtivo e da gestão eficiente de ativos da organização como um todo. A pesquisa foi desenvolvida como um estudo de caso, envolvendo levantamento de dados sobre os ativos, entrevistas com operadores e análise das falhas mais recorrentes, de forma a construir uma matriz de criticidade. A partir dessa análise, foram sugeridas ações de manutenção preventiva, corretiva programada e preditiva, compatíveis com os recursos técnicos e financeiros da empresa. Além disso, foram indicados indicadores de desempenho (KPIs) que poderão ser utilizados pela organização para monitorar a eficácia do plano, como MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair) e índice de disponibilidade técnica. Os resultados obtidos evidenciam que a aplicação da metodologia RBM possibilita uma priorização mais eficiente dos ativos críticos, promovendo ganhos significativos em confiabilidade operacional, redução da ocorrência de falhas não planejadas e melhor utilização dos recursos produtivos disponíveis. Observa-se que a estruturação do plano de manutenção contribui diretamente para o aumento da previsibilidade do processo produtivo e para a tomada de decisões mais assertivas no âmbito da gestão de manutenção. Dessa forma, o estudo demonstra, de maneira prática, que a adoção de uma abordagem baseada em risco é viável e eficaz mesmo em empresas de pequeno e médio porte, reforçando a manutenção como elemento estratégico para a melhoria do desempenho industrial e para a sustentabilidade operacional da organização.

Palavras-chave: manutenção industrial; manutenção baseada em risco; confiabilidade; rochas ornamentais.

ABSTRACT

In the current scenario of the ornamental stone industry, the availability and reliability of production equipment are determining factors for the competitiveness of organizations. Ornamental stone companies located in the interior of Ceará present a reality marked by the predominance of corrective maintenance practices, which generates production delays, additional costs, and a reduction in the useful life of assets. Therefore, this Final Course Project aims to develop and propose a risk-based maintenance (RBM) plan for the main equipment used in the company's production line, in order to contribute to the improvement of productive performance and efficient asset management of the organization as a whole. The research was developed as a case study, involving data collection on assets, interviews with operators, and analysis of the most recurrent failures, in order to construct a criticality matrix. From this analysis, preventive, scheduled corrective, and predictive maintenance actions were suggested, compatible with the company's technical and financial resources. Furthermore, key performance indicators (KPIs) were indicated that the organization can use to monitor the effectiveness of the plan, such as MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair), and technical availability index. The results obtained show that the application of the RBM methodology allows for a more efficient prioritization of critical assets, promoting significant gains in operational reliability, reducing the occurrence of unplanned failures, and improving the use of available productive resources. It is observed that the structuring of the maintenance plan directly contributes to increasing the predictability of the production process and to making more assertive decisions in the context of maintenance management. Thus, the study demonstrates, in a practical way, that the adoption of a risk-based approach is viable and effective even in small and medium-sized enterprises, reinforcing maintenance as a strategic element for improving industrial performance and for the operational sustainability of the organization.

Keywords: Industrial maintenance; risk-based maintenance; reliability; ornamental stones.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Etapas do processo produtivo.....	14
Figura 2	– Pia em processo de acabamento na fábrica	15
Figura 3	– Tampo de bancada instalado	15
Figura 4	– Gráfico dos tipos de manutenções e suas características	21
Figura 5	– Tipos de manutenções e suas características.....	24
Figura 6	– Manutenção de acordo com a maturidade.....	26
Figura 7	– Matriz de risco relacionando probabilidade de ocorrência e impacto.....	28
Figura 8	– Esquema simplificado dos passos do trabalho.....	35
Figura 9	– Fluxograma geral da metodologia RBM aplicada.....	39
Figura 10	– Serra ponte automática – Aço Ar (CNC).....	40
Figura 11	– Serra ponte SPR 450 – Aço Ar (CNC).....	40
Figura 12	– Serra de corte manual – RDS Samec.....	41
Figura 13	– Politriz de borda interna RPI08 – Aço Art.....	41
Figura 14	– Politriz de borda automática RPB – Aço Art.....	42
Figura 15	– Cortadeira longitudinal fixa RR 350 45° – Aço Art.....	42
Figura 16	– Cortadeira longitudinal meia esquadria RR 350/45° – Aço Art.....	43
Figura 17	– Imagem de exemplo de matriz análise de risco.....	44
Figura 18	– Pontuação total de criticidade dos equipamentos críticos.....	52
Figura 19	– Índice de criticidade da máquina CNC.....	54
Figura 20	– Índice de criticidade da máquina politriz.....	55
Figura 21	– Índice de criticidade da máquina esquadria.....	55
Figura 22	– Distribuição percentual da criticidade por equipamento.....	57
Figura 23	– Classificação do índice de risco por equipamento.....	60
Figura 24	– Cronograma de manutenção estruturado por periodicidade.....	71
Figura 25	– Tabela com a periodicidade de manutenção de cada equipamento.....	71
Figura 26	– Tipo de manutenção planejada para cada equipamento.....	72
Figura 27	– Gráfico com a redução projetada de falhas após a RBM.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

RBM	Manutenção Baseada em Risco
PME	Pequenas e Médias Empresas
CNC	Controle Numérico Computadorizado
KPIs	Indicadores-Chave de Desempenho
RCM	Manutenção Centrada na Confiabilidade
TQM	Gestão da Qualidade Total
IoT	Internet das Coisas
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	Organização Internacional de Normalização
IR	Índice de Risco
P	Probabilidade de Falha
IP	Impacto de Produção
IS	Impacto na Segurança ou Custo
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	Tempo Médio Para Reparo/Recuperação
ERPS	Planejamento de Recursos Empresariais
CMMS	Sistema de Gestão de Manutenção Computadorizado
FMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falha
AHP	Processo Hierárquico Analítico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	O setor de rochas ornamentais: desafios da manutenção.....	12
1.2	A Realidade das PMEs e a manutenção reativa.....	14
1.3	Objetivos.....	15
1.4	Justificativa.....	16
1.5	Estrutura do trabalho.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	A evolução da manutenção industrial.....	20
<i>2.1.1</i>	<i>Manutenção preditiva e centrada em confiabilidade.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Manutenção como pilar estratégico na indústria 4.0.....</i>	<i>21</i>
2.2	Desafios operacionais e de manutenção nesse segmento.....	22
2.3	Classificação dos tipos de manutenção.....	24
<i>2.3.1</i>	<i>Manutenção corretiva.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Manutenção preventiva.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.3</i>	<i>Manutenção preditiva.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.4</i>	<i>Manutenção detectiva.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.5</i>	<i>Manutenção baseada em risco (RBM).....</i>	<i>26</i>
2.4	Manutenção baseada em risco (RBM).....	26
2.5	Indicadores de desempenho em manutenção (KPIs).....	29
2.6	A importância da manutenção em pequenas e médias empresas.....	30
2.7	Estudos relacionados.....	32
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	Problema de pesquisa.....	34
3.2	Caracterização da pesquisa.....	36
3.3	Justificativa metodológica.....	37
3.4	Etapas da metodologia aplicada.....	38
3.5	Considerações finais da metodologia.....	47
4	RESULTADOS E DISCOSSÕES.....	49
4.1	Introdução à aplicação.....	49
4.2	Caracterização dos Equipamentos.....	50
4.3	Coleta e Tratamento de Dados.....	52

4.4	Construção da Matriz de Risco.....	56
4.5	Introdução aos Resultados.....	58
4.6	Classificação dos Equipamentos por Criticidade.....	59
4.7	Análise dos Modos de Falha Relevantes.....	62
4.8	Discussão dos Resultados.....	63
4.9	Introdução ao Plano de Manutenção.....	64
4.10	Estrutura do Plano de Manutenção.....	65
4.11	Plano por Equipamento.....	67
4.11.1	<i>Serra Ponte Automática – CNC (Aço Art).....</i>	67
4.11.2	<i>Politriz de Borda Automática RPB 11s (Aço Art).....</i>	68
4.11.3	<i>Serra Ponte SPR 450 – CNC (Aço Art).....</i>	69
4.11.4	<i>Politriz de Borda Interna RPI08 (Aço Art).....</i>	69
4.11.5	<i>Cortadeira Longitudinal Meia Esquadria RR350/45° (Aço Art).....</i>	69
4.11.6	<i>Cortadeira Longitudinal Fixa RR 350 45° (Aço Art).....</i>	70
4.11.7	<i>Serra de Corte Manual (RDS Samec)</i>	70
4.12	Cronograma Sugerido de Execução.....	70
4.13	Indicadores de Desempenho (KPIs) recomendados.....	72
4.14	Considerações Finais.....	74
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	77
5.1	Considerações Finais.....	77
5.2	Recomendações para Trabalhos Futuros e Aplicações Práticas.....	78
5.3	Recomendações para Estudos Acadêmicos Futuros.....	79
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO A – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO SERRA PONTE AUTOMÁTICA – CNC (AÇO ART).....	83
	ANEXO B – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO POLITRIZ DE BORDA AUTOMÁTICA RPB 11S (AÇO ART).....	84
	ANEXO C – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO SERRA PONTE SPR 450 – CNC (AÇO ART).....	85

ANEXO D – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO POLITRIZ DE BORDA INTERNA RPI08 (AÇO ART).....	86
ANEXO E – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO CORTADEIRA LONGITUDINAL MEIA ESQUADRIA RR350/45° (AÇO ART).....	87
ANEXO F – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO CORTADEIRA LONGITUDINAL FIXA RR 350 45° (AÇO ART).....	88
ANEXO G – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO SERRA DE CORTE MANUAL (RDS SAMEC).....	89

1 INTRODUÇÃO

No cenário industrial contemporâneo, a eficiência operacional e a confiabilidade dos ativos produtivos deixaram de ser apenas metas desejáveis e passaram a constituir verdadeiros pilares estratégicos para a competitividade e a sustentabilidade das organizações. À medida em que os processos industriais se tornam mais complexos, integrados e exigentes em termos de qualidade e produtividade, a capacidade de garantir o total funcionamento dos equipamentos ao longo do tempo obtém uma importância crescente.

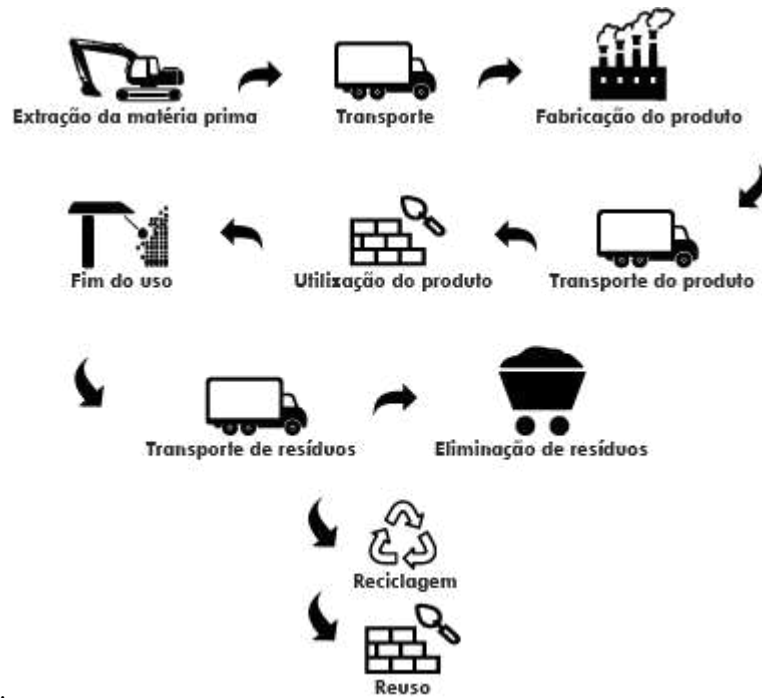
Nesse contexto, a manutenção de máquinas e equipamentos, tradicionalmente associada com uma função corretiva e reativa, vem sendo gradativamente revalorizada como uma atividade essencial para o desempenho global da produção. Hoje, se entende que a manutenção eficaz não apenas evita interrupções indesejadas, como também contribui diretamente para a segurança dos trabalhadores, a integridade dos produtos fabricados e a racionalização dos custos operacionais. A evolução das práticas de manutenção industrial reflete, portanto, uma mudança de paradigma: da simples reparação de falhas pontuais para a construção de uma abordagem estratégica, integrada com a gestão da produção e à engenharia de confiabilidade.

1.1 O setor de rochas ornamentais: desafios da manutenção

O setor de beneficiamento de rochas ornamentais, no qual se insere a empresa, é particularmente sensível a esse cenário. Trata-se de um segmento que opera com materiais de alto valor agregado e que exige uma série de etapas produtivas consecutivas, como o corte, o desbaste, o polimento e o acabamento final de chapas e peças de mármore e granito. Cada uma dessas etapas depende diretamente do bom funcionamento de equipamentos robustos e especializados, como serras ponte, cortadeiras longitudinais e politrizes de borda.

Nessa cadeia produtiva, qualquer parada inesperada representa um impacto significativo, não apenas em termos de produtividade, mas também na qualidade final das peças produzidas e no cumprimento de prazos contratuais — o que, por sua vez, compromete a imagem da empresa perante seus clientes e parceiros comerciais. Na Figura 1, a seguir, tem-se o fluxograma que representa como funciona o processo do material até chegar ao produto final do cliente.

Figura 1 - Etapas do processo produtivo



Fonte: Materioteca UFSC (2024)

Além disso, muitos dos insumos utilizados nesse tipo de produção não podem ser reaproveitados com facilidade em caso de falha durante o processamento, o que acentua ainda mais os prejuízos decorrentes de interrupções operacionais. Desse modo, garantir a disponibilidade e o desempenho contínuo das máquinas não é apenas uma boa prática técnica, e sim uma condição fundamental para a competitividade no mercado de rochas ornamentais, especialmente diante da crescente exigência dos consumidores por prazos curtos e acabamento de alta precisão e qualidade. As Figuras abaixo representam exemplos de produtos finalizados que a empresa comercializa.

Figura 2 – Pia em processo de acabamento na Fábrica



Fonte: Autor (2025)

Figura 3 – Tampo de bancada instalado



Fonte: Autor (2025)

1.2 A Realidade das PMEs e a manutenção reativa

Apesar dessa realidade, diversas empresas de pequeno e médio porte ainda operam com estruturas de manutenção fragilizadas ou inexistentes. Os fatores como a falta de uma cultura organizacional voltada à gestão de ativos, a ausência de processos padronizados, o desconhecimento de metodologias modernas de manutenção e as limitações de investimento dificultam a implementação de práticas mais estruturadas. Com isso, a manutenção acaba sendo

realizada de maneira reativa, quase sempre em caráter emergencial, quando o equipamento já apresentou falha total ou parcial.

Tal abordagem, além de elevar os custos com paradas não programadas e trocas de componentes fora de ciclo, compromete a vida útil dos equipamentos e aumenta a imprevisibilidade do processo produtivo. Nesse cenário, torna-se imperativo adotar práticas de manutenção mais inteligentes, baseadas em critérios técnicos e estratégias de priorização que considerem os riscos associados à falha de cada ativo.

A introdução de metodologias como a Manutenção Baseada em Risco (RBM) desponta como uma solução viável e eficaz para ambientes produtivos que, embora tenham limitações estruturais, buscam maior previsibilidade, desempenho e segurança em suas operações. Por meio dessa abordagem, é possível racionalizar recursos, reduzir desperdícios, aumentar a confiabilidade dos sistemas e sustentar a competitividade organizacional a médio e longo prazo.

1.3 Objetivos

Objetivo geral:

Desenvolver e propor um plano de manutenção baseado em risco (RBM) voltado aos principais equipamentos utilizados na linha de produção da empresa, afim de contribuir para a melhoria do desempenho produtivo e da gestão eficiente de ativos da organização como um todo.

Objetivos específicos:

- Realizar o levantamento detalhado dos ativos críticos inseridos nas etapas-chave do processo produtivo, identificando as principais máquinas, seus subsistemas e suas funções operacionais, com base na observação técnica e na consulta a operadores e responsáveis de manutenção;
- Identificar os modos de falha mais recorrentes para cada equipamento selecionado, bem como analisar os impactos que essas falhas causam sobre a produção, a segurança do trabalho, a qualidade do produto final e os custos operacionais;

- Aplicar os princípios da metodologia RBM para elaborar uma análise de criticidade dos ativos, considerando a combinação entre a probabilidade de ocorrência das falhas e a severidade de seus impactos no ambiente produtivo;
- Propor ações de manutenção direcionadas e realistas, levando em consideração a capacidade técnica da empresa, seus recursos disponíveis e a viabilidade de execução dentro do contexto operacional da empresa;
- Estruturar um plano de manutenção completo e sistemático, com definição de periodicidade, recursos humanos e materiais envolvidos, ferramentas necessárias, responsáveis por cada tarefa e tipo de manutenção recomendada (preventiva, corretiva, preditiva, programada);

Sugerir indicadores de desempenho (KPIs) adequados para acompanhar a eficácia do plano implantado, permitindo à empresa monitorar sua evolução ao longo do tempo, ajustar estratégias de intervenção e estabelecer metas de melhoria contínua no setor de manutenção.

1.4 Justificativa

A realização deste trabalho justifica-se pela necessidade concreta de aprimorar a gestão da manutenção na empresa, cuja operação produtiva depende de maneira direta da disponibilidade e do desempenho contínuo de seus equipamentos. Em um ambiente industrial onde os processos de corte, polimento e acabamento de rochas ornamentais demandam precisão, regularidade e ritmo constante, falhas não planejadas em máquinas críticas impactam não apenas a produtividade, mas também a qualidade final do produto e o cumprimento dos prazos comerciais estabelecidos com os clientes.

A inexistência de um plano estruturado de manutenção, elaborado com base em critérios técnicos e estratégicos, tem resultado em práticas reativas, centradas na correção de falhas somente após sua ocorrência. Essa abordagem acarretou, por exemplo, atrasos significativos na produção, com estimativas de queda de 30% a 40% na entrega de pedidos antes da recente manutenção completa de março de 2025.

Falhas pontuais, como a máquina de corte CNC demorando 2 a 3 horas para iniciar no início de operação, ou a politriz apresentando instabilidade em acabamentos complexos como o "pingador", forçando a execução manual, são exemplos práticos das perdas de produtividade. Tudo isso acarreta custos operacionais elevados, paradas inesperadas e riscos à segurança dos trabalhadores, além de reduzir significativamente a vida útil dos ativos e

aumentar a imprevisibilidade do processo produtivo. Assim, torna-se imprescindível adotar uma solução que seja, ao mesmo tempo, tecnicamente embasada e viável de ser aplicada no contexto atual da empresa.

Ao propor a implementação de um plano de manutenção fundamentado na metodologia de RBM, reconhecida por sua eficácia em ambientes industriais com baixa formalização de dados, o presente estudo visa construir um modelo de gestão da manutenção mais inteligente, direcionado e adaptado à realidade da empresa. A RBM permite classificar os ativos segundo sua criticidade, estabelecendo prioridades de intervenção com base na combinação entre a probabilidade de falha e o impacto que esta pode gerar na operação.

Com isso, os recursos humanos, financeiros e materiais podem ser alocados de forma mais eficiente, evitando desperdícios e fortalecendo a confiabilidade operacional da empresa. A expectativa é que a implementação desse plano reforce o ganho observado pós-manutenção de março, que já resultou em uma melhoria de 20% na produção de pedidos entregues dentro do prazo.

Sob o ponto de vista acadêmico, este trabalho contribui de forma relevante para o campo da Engenharia de Manutenção Mecânica, ao demonstrar a aplicabilidade prática de uma metodologia técnica em uma organização de pequeno/médio porte, sem grande estrutura tecnológica ou histórico sistematizado de manutenção. A proposta metodológica aqui desenvolvida apresenta-se como uma alternativa viável e replicável para outras empresas de segmentos industriais semelhantes, que enfrentam desafios parecidos no que se refere à gestão de seus ativos.

Além disso, o estudo reforça a importância da manutenção como fator estratégico e diferencial competitivo, sobretudo em ambientes de produção enxuta, onde cada hora parada representa perda significativa. O desenvolvimento de um plano estruturado com base na RBM oferece não apenas melhorias operacionais, mas também contribui para a sustentabilidade do negócio a médio e longo prazo, favorecendo a tomada de decisão técnica, a padronização de processos e o fortalecimento da cultura de confiabilidade. Assim, espera-se que esta pesquisa sirva como base de referência para gestores, engenheiros e profissionais da área industrial, que buscam implementar soluções realistas e eficazes para os desafios diários enfrentados na manutenção de equipamentos, mesmo diante de limitações estruturais.

1.5 Estrutura do trabalho

Este Trabalho de Conclusão de Curso está organizado em sete capítulos, desenvolvidos de maneira lógica e sequencial, de forma a permitir uma leitura clara, coerente e progressiva do tema proposto. A estrutura visa atender aos objetivos estabelecidos e conduzir o leitor por todas as etapas do estudo, desde a contextualização do problema até a apresentação dos resultados e recomendações finais.

O Capítulo 1 – Introdução tem como propósito situar o leitor quanto à problemática enfrentada pela empresa no que diz respeito à ausência de um plano estruturado de manutenção. São apresentados, neste capítulo, a contextualização do setor industrial, a delimitação do problema de pesquisa, os objetivos geral e específicos, a justificativa técnico-acadêmica e a descrição da estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 – Referencial Teórico reúne os principais conceitos e fundamentos relacionados à manutenção industrial, abordando a evolução histórica das práticas de manutenção, os diferentes tipos de abordagem (corretiva, preventiva, preditiva e baseada em risco), os indicadores de desempenho aplicáveis à gestão de ativos e a fundamentação da metodologia RBM, que norteia o presente estudo.

No Capítulo 3 – Metodologia, descreve-se o percurso metodológico adotado para o desenvolvimento da pesquisa. São especificados o tipo de estudo, a abordagem qualitativa da análise de risco, os critérios de seleção dos equipamentos e as etapas de construção do plano de manutenção. Também são apresentados os instrumentos de coleta de dados e os critérios técnicos utilizados na priorização dos ativos.

O Capítulo 4 – Aplicação da Metodologia, apresenta o estudo de caso realizado na empresa, destacando o levantamento dos ativos produtivos, a identificação dos modos de falha mais relevantes e a construção da matriz de criticidade, com base na aplicação da metodologia RBM.

No Capítulo 5 – Resultados e Discussão, são apresentados os resultados da aplicação da matriz de risco, acompanhados de uma análise técnica sobre a classificação dos ativos, o comportamento das falhas identificadas e os impactos operacionais observados. A seção também contempla reflexões sobre a adequação da metodologia ao contexto específico da empresa estudada.

O Capítulo 6 – Proposta do Plano de Manutenção, sistematiza as ações recomendadas com base nos dados analisados, detalhando os tipos de manutenção previstos para cada equipamento, suas respectivas frequências, recursos necessários, responsáveis

técnicos e recomendações práticas para implementação. Também são sugeridos indicadores de desempenho para monitoramento e controle da eficácia do plano ao longo do tempo.

Por fim, o Capítulo 7 – Considerações Finais e Recomendações, consolida os principais achados do trabalho, refletindo sobre os benefícios esperados com a adoção do plano de manutenção proposto. Além disso, são apresentadas recomendações para a empresa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

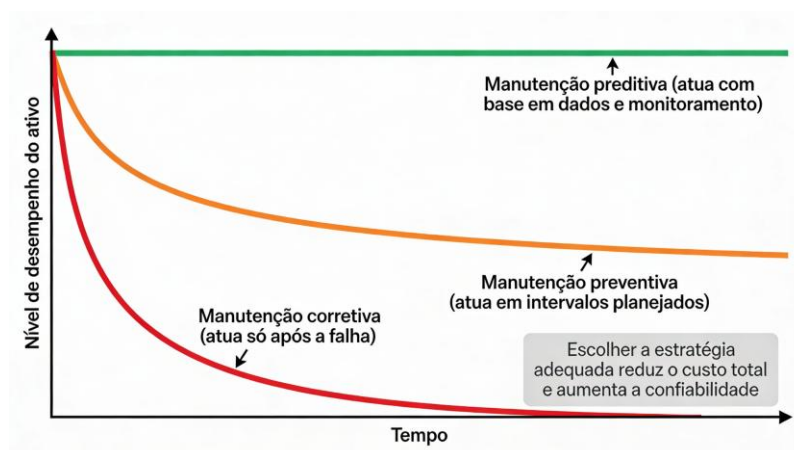
2.1 A evolução da manutenção industrial

Historicamente, a manutenção industrial esteve fortemente associada à correção de falhas, sendo tratada, durante décadas, como uma função meramente reativa dentro do processo produtivo. Conforme apontam Smith e Mobley (2011), a abordagem predominante nos ambientes fabris até meados do século XX era pautada na lógica do conserto: aguardava-se que a falha ocorresse para, então, realizar a intervenção necessária. Este modelo, atualmente denominado manutenção corretiva não planejada, era comum em um contexto em que a pressão por disponibilidade dos ativos ainda não havia se consolidado como fator estratégico para a competitividade organizacional.

Tal filosofia, embora ainda presente em muitos segmentos industriais, revela-se inadequada frente às exigências modernas de confiabilidade, segurança e produtividade. Com o aumento da complexidade dos equipamentos e o encarecimento das operações, cresceu a percepção de que a simples reação à falha não seria mais suficiente para sustentar os níveis de desempenho exigidos. Nesse cenário, surgiu a manutenção preventiva, estruturada com o objetivo de antecipar falhas por meio de inspeções regulares, substituições programadas e controle sistemático dos ciclos operacionais (Kardec & Nascif, 2009).

A introdução desse modelo demandou o desenvolvimento de cronogramas, procedimentos padronizados e capacitação técnica das equipes envolvidas, inaugurando uma nova etapa na evolução da engenharia de manutenção. Além disso, estudos mais recentes, como o de Sharma e Yadava (2021), reforçam que práticas modernas de manutenção impactam diretamente na eficiência energética, produtividade e sustentabilidade industrial. A seguir, tem-se a Figura 4, o comportamento do nível de desempenho do ativo ao longo do tempo para diferentes estratégias de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva).

Figura 4 – Gráfico dos tipos de manutenções e seu comportamento



Fonte: Moubray, John Autor (1997) (Adaptado)

2.1.1 *Manutenção preditiva e centrada em confiabilidade*

Com o avanço da automação industrial e o desenvolvimento de tecnologias embarcadas em máquinas e sistemas produtivos, emergiu uma nova geração de práticas, que passou a se basear no monitoramento de variáveis operacionais em tempo real.

Assim, consolidaram-se os conceitos de manutenção preditiva, fundamentada na análise de condições como vibração, temperatura e ruído, e da manutenção centrada em confiabilidade (RCM), que busca alocar recursos de forma otimizada com base na análise do risco de falha e na criticidade dos equipamentos (Mobley, 2011; Coetzee, 1999).

Esses modelos representam uma ruptura significativa em relação às abordagens anteriores, pois incorporam não apenas o aspecto técnico, mas também elementos da gestão estratégica de ativos, incluindo confiabilidade, disponibilidade, segurança e custos totais de propriedade. De acordo com Souza (2008), a manutenção moderna deve ser entendida como uma função integrada ao sistema de gestão da produção, com impacto direto na qualidade dos produtos, na segurança dos trabalhadores e na competitividade da empresa.

2.1.2 *Manutenção como pilar estratégico na indústria 4.0*

Atualmente, em consonância com os princípios da Gestão da Qualidade Total (TQM), a manutenção é reconhecida como um dos pilares fundamentais para a sustentabilidade e excelência dos sistemas produtivos.

Sua função vai além da preservação dos equipamentos: ela atua como elemento-chave na prevenção de perdas, na melhoria contínua e na criação de um ambiente de trabalho mais seguro e confiável (Xenos, 1998; Paladini, 2012). Autores mais recentes, como Khan e Khan (2021), destacam que a manutenção preditiva e a Manutenção 4.0, impulsionadas por IoT e inteligência artificial, são cruciais para otimizar o desempenho e reduzir o tempo de inatividade em ambientes complexos.

Ao deixar de ser vista como mero “centro de custos” e passar a ser tratada como um investimento estratégico, a manutenção assume papel central na busca por eficiência operacional, redução de desperdícios e garantia de desempenho contínuo dos processos industriais. Segundo um estudo internacional de Mobley (2021), empresas que adotam estratégias integradas de manutenção preditiva e baseada em risco (RBM) têm melhorias de até 50% na confiabilidade de ativos críticos. Além disso, sensores interligados e algoritmos preditivos permitem uma tomada de decisão mais precisa, elevando o papel da manutenção de um centro de custo para um gerador de valor.

A norma NBR 5462 (1994) já propunha essa estrutura, que permanece atual, mas evoluiu com a introdução de tecnologias de monitoramento em tempo real (IoT e sensores embarcados). Conforme Li, et al. (2020), empresas que adotam manutenção preditiva digitalizada podem reduzir em até 30% seus custos com paradas não programadas.

2.2 Desafios operacionais e de manutenção nesse segmento

O beneficiamento de rochas ornamentais, como mármore e granito, apresenta um conjunto de desafios operacionais específicos que impactam diretamente o desempenho, a confiabilidade e a vida útil das máquinas industriais envolvidas no processo produtivo. Trata-se de um ambiente severo de trabalho, caracterizado por elevados esforços mecânicos, presença constante de partículas abrasivas, umidade excessiva e variações significativas de carga ao longo da operação.

As máquinas utilizadas nesse setor — como serras ponte, cortadeiras longitudinais e politrizes de borda — operam, em sua maioria, sob condições contínuas e com elevado nível de exigência estrutural. O contato direto com materiais de alta dureza e abrasividade provoca desgaste acelerado de componentes críticos, como discos de corte, guias lineares, rolamentos, fusos, sistemas de transmissão e elementos de vedação. Esse desgaste, quando não monitorado adequadamente, tende a evoluir para falhas recorrentes e paradas não programadas.

Outro desafio relevante está relacionado à presença constante de água e lama abrasiva (mistura de pó de rocha com água), amplamente utilizada para resfriamento e redução de poeira durante o corte e o polimento. Embora necessária ao processo, essa condição favorece processos de corrosão, contaminação de sistemas mecânicos e elétricos, além de comprometer sensores, painéis de comando e componentes eletrônicos, especialmente em máquinas com algum grau de automação ou controle numérico.

Além disso, observa-se que muitas dessas máquinas operam em ambientes industriais com infraestrutura limitada, onde nem sempre há controle rigoroso de limpeza, organização, lubrificação adequada e inspeções periódicas. A ausência de procedimentos padronizados de operação e manutenção contribui para o uso inadequado dos equipamentos, sobrecargas operacionais e intervenções corretivas improvisadas, que acabam por reduzir a confiabilidade do sistema produtivo como um todo.

Do ponto de vista da manutenção, um desafio recorrente nas empresas do setor de rochas ornamentais, especialmente de pequeno e médio porte, é a predominância de práticas corretivas, realizadas apenas após a ocorrência de falhas. Essa abordagem reativa resulta em elevados tempos de parada, dificuldade na obtenção de peças sobressalentes, dependência de assistência técnica externa e aumento significativo dos custos operacionais. Soma-se a isso a escassez de registros históricos de falhas e intervenções, o que dificulta a análise de desempenho e a implementação de estratégias preventivas ou preditivas.

Adicionalmente, a variabilidade dos produtos fabricados — com diferentes espessuras, formatos e tipos de acabamento — impõe constantes ajustes nas máquinas, aumentando a probabilidade de erros operacionais e falhas associadas à regulagem inadequada. Em equipamentos como politrizes e cortadeiras, por exemplo, trocas frequentes de ferramentas e configurações incorretas podem resultar em perdas de produtividade e retrabalho.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de adoção de abordagens de manutenção mais estruturadas e adaptadas à realidade do setor. A identificação dos desafios operacionais específicos das máquinas de mármore e granito reforça a importância de metodologias que priorizem os ativos mais críticos, considerem as condições severas de operação e auxiliem na tomada de decisão técnica, como a Manutenção Baseada em Risco (RBM), tema central deste trabalho.

2.3 Classificação dos tipos de manutenção

A classificação da manutenção industrial é tema amplamente discutido na literatura técnica e está normatizada por documentos internacionais e nacionais, como a ABNT NBR ISO 14224:2016, que define diretrizes para a coleta e a organização de dados de confiabilidade e manutenção.

De acordo com essa norma, bem como com autores clássicos da área, como Smith e Mobley (2011), Souza (2008) e Kardec e Nascif (2009), a manutenção pode ser subdividida em diferentes categorias, conforme o momento da intervenção e o tipo de estratégia adotada. A Figura 5 abaixo, mostra um resumo de como é cada um dos tipos de manutenção, e suas características.

Figura 5 – Tipos de manutenções e suas características



Fonte: ABNT NBR ISO 14224 (2016) (Adaptado)

As principais classificações, relevantes para este estudo, são descritas a seguir.

2.3.1 *Manutenção corretiva*

A manutenção corretiva é aquela realizada após a ocorrência de uma falha. Ela pode se apresentar sob duas formas: planejada, quando o defeito é diagnosticado com antecedência e há tempo hábil para preparar recursos e programar a intervenção, e não planejada, quando a falha ocorre de forma súbita, exigindo uma resposta emergencial. Segundo Souza (2008), a manutenção corretiva não planejada está associada a elevados custos operacionais, riscos de

paralisações prolongadas e maior exposição a acidentes. Embora ainda necessária em determinados contextos, principalmente para equipamentos de baixa criticidade, sua ocorrência deve ser reduzida ao mínimo possível por meio de políticas preventivas bem estruturadas.

2.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva baseia-se em uma estratégia de intervenções periódicas e programadas, realizadas com o objetivo de prevenir falhas futuras. Essa modalidade tem como base o tempo ou o número de ciclos de operação de determinado equipamento, e é aplicada especialmente em ativos cujo desgaste é previsível e controlável. De acordo com Kardec e Nascif (2009), a preventiva busca prolongar a vida útil dos componentes, garantir maior confiabilidade ao processo e reduzir a imprevisibilidade operacional. No entanto, sua aplicação requer planejamento adequado para evitar trocas prematuras de peças ainda funcionais, o que pode gerar desperdícios e custos desnecessários.

2.3.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva, por sua vez, representa um avanço significativo em relação aos modelos anteriores, ao incorporar o monitoramento contínuo de parâmetros físicos e operacionais do equipamento. Utiliza-se, nesse caso, de técnicas como análise de vibração, termografia, ultrassom, monitoramento de temperatura e análise de óleo, entre outras, para identificar sinais precoces de falhas em desenvolvimento. No entanto, exige investimento em tecnologia e capacitação técnica, o que pode dificultar sua implantação em empresas de menor porte.

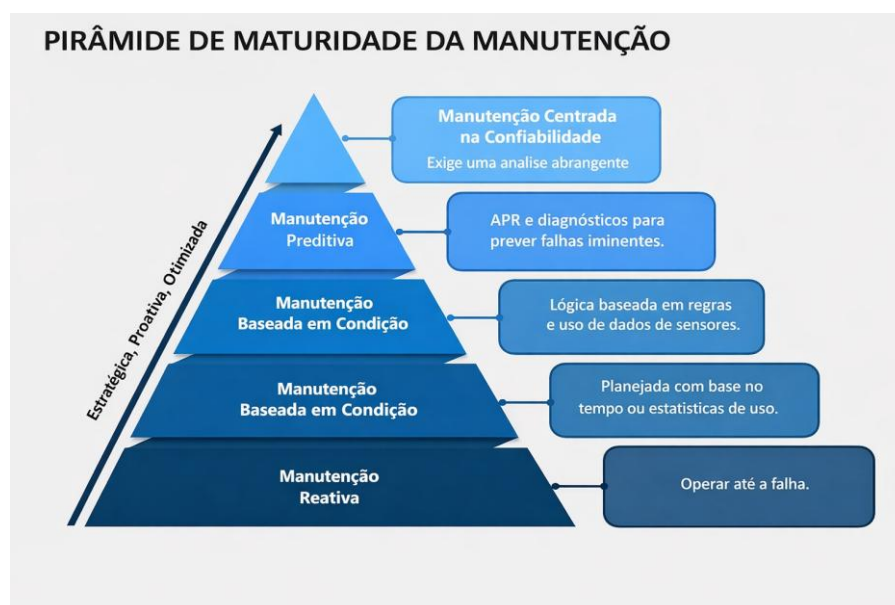
2.3.4 Manutenção detectiva

Menos conhecida, a manutenção detectiva tem por objetivo identificar falhas ocultas ou latentes, principalmente em sistemas de segurança, dispositivos de proteção e mecanismos de reserva, que não operam continuamente, mas cuja falha pode gerar consequências graves. Segundo Coetzee (1999), trata-se de uma estratégia preventiva aplicada de forma complementar, especialmente em sistemas redundantes ou críticos, onde a simples ausência de alarmes não garante o pleno funcionamento do dispositivo de segurança.

2.3.5 Manutenção baseada em risco (RBM)

A Manutenção Baseada em Risco (RBM) representa uma abordagem híbrida e moderna, que busca priorizar os recursos disponíveis com base em uma análise combinada de probabilidade de falha e severidade do impacto. Essa metodologia permite focar esforços nos ativos mais críticos, estabelecendo planos de manutenção proporcionais ao risco que cada equipamento representa para a operação. De acordo com Kardec e Nascif (2009), a RBM é especialmente indicada para ambientes com restrição de recursos, ausência de histórico técnico detalhado e necessidade de tomada de decisão baseada em critérios técnicos adaptáveis. É uma estratégia que integra conceitos da engenharia de confiabilidade, gestão de ativos e avaliação de riscos operacionais.

Figura 6 – Manutenção de acordo com a maturidade



Fonte: sketchbubble (2025) (adaptado)

2.4 Manutenção baseada em risco (RBM)

A Manutenção Baseada em Risco é uma metodologia que integra os princípios da engenharia de confiabilidade e da gestão de ativos com a análise qualitativa e quantitativa de riscos operacionais. Seu principal objetivo é direcionar os esforços de manutenção de forma

estratégica, alocando recursos de maneira proporcional ao risco representado por cada ativo produtivo dentro do sistema industrial.

De acordo com a definição estabelecida pela norma ABNT NBR ISO 14224:2016, o risco associado a um equipamento é entendido como a combinação entre a probabilidade de ocorrência de uma falha e as consequências dessa falha, que podem ser de natureza econômica, ambiental, operacional ou relacionada à segurança do trabalho. A RBM, portanto, permite que decisões sobre intervenções de manutenção sejam tomadas com base na criticidade dos ativos, considerando não apenas a frequência esperada de falhas, mas também o impacto que essas falhas podem gerar sobre o processo produtivo.

Kardec e Nascif (2009) destacam que a RBM constitui uma ferramenta poderosa de priorização técnica, especialmente útil em ambientes produtivos com estrutura organizacional enxuta, onde nem sempre há disponibilidade de dados históricos detalhados ou recursos avançados para aplicação de metodologias mais complexas, como a RCM.

A grande vantagem da RBM está em sua flexibilidade e adaptabilidade, sendo viável mesmo em contextos operacionais onde o conhecimento sobre os ativos está, em grande parte, baseado na experiência empírica dos operadores e técnicos de manutenção. Autores como Silva, et al. (2022) e Kumar & Barua (2021) ressaltam que a RBM é especialmente eficaz em ambientes industriais com recursos limitados e alta criticidade operacional, como PMEs. A implementação prática da RBM envolve, essencialmente, as seguintes etapas:

- Identificação dos ativos relevantes no processo produtivo, incluindo máquinas, sistemas auxiliares e componentes críticos;
- Avaliação da criticidade de cada ativo, com base em critérios objetivos (como tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, custo de substituição) e subjetivos (como percepção da equipe, impacto operacional e grau de obsolescência);
- Cálculo do risco operacional, com a utilização de uma equação simples, porém eficaz, que combina os três elementos centrais da análise:

$$\text{Índice de Risco (IR)} = \text{Probabilidade de falha (P)} \times \text{Impacto de produção (IP)} \times \text{Impacto na Segurança ou Custo (IS)}$$

- Priorização dos ativos com maior valor de IR, que passarão a ser o foco das intervenções de manutenção com maior frequência ou com nível técnico mais elevado;

- Estruturação de um plano de manutenção ajustado à realidade da empresa, com definição de periodicidade das ações, tipos de manutenção recomendados (preventiva, corretiva, detectiva, preditiva) e alocação de recursos humanos e materiais.

Temos abaixo a Figura 7, que mostra a matriz de probabilidade-impacto na gestão de riscos de projetos, que é uma metodologia quantitativa para priorização de riscos.

Figura 7 – Matriz de risco relacionando probabilidade de ocorrência e impacto

		Impacto →				
		Desprezível	Menor	Moderado	Significativo	Severo
↑ Probabilidade	Muito provável	Baixo Med	Médio	Médio Alt.	Alto	Alto
	Provável	Baixo	Baixo Med	Médio	Médio Alt.	Alto
	Possível	Baixo	Baixo Med	Médio	Médio Alt.	Médio Alt.
	Pouco provável	Baixo	Baixo Med	Baixo Med	Médio Alt.	Médio Alt.
	Muito improvável	Baixo	Baixo	Baixo	Medium	Médio
	Muito improvável	Baixo	Baixo	Baixo	Medium	Médio

Fonte: Li, et al (2018) (adaptado)

Segundo Souza (2008), a aplicação da RBM possibilita otimizar a utilização dos recursos disponíveis, evitando tanto a manutenção excessiva (que aumenta custos sem necessidade) quanto a manutenção insuficiente (que pode resultar em falhas catastróficas). Além disso, seu caráter adaptativo permite ajustes contínuos conforme novos dados vão sendo coletados, favorecendo uma abordagem de melhoria contínua da gestão de ativos.

A classificação dos ativos segundo seu risco operacional é uma etapa essencial para a efetividade do plano de manutenção, especialmente em empresas que operam com margens reduzidas de tempo, mão de obra e orçamento. Dessa forma, a RBM representa uma alternativa viável e eficaz para empresas de pequeno e médio porte que desejam adotar uma visão mais estratégica da manutenção, mesmo em contextos de baixa maturidade organizacional.

Embora amplamente adotada em grandes corporações, a aplicação da RBM em PMEs ainda é um desafio. A limitação de dados, falta de profissionais especializados e baixa

automação dificultam a implementação plena da metodologia. No entanto, estudos como o de Fernandes e Teixeira (2023) indicam que a adoção gradual da RBM em PMEs pode resultar em redução de falhas em até 40%, mesmo com dados limitados, desde que haja envolvimento da equipe operacional no levantamento e priorização dos riscos.

2.5 Indicadores de desempenho em manutenção (KPIs)

A efetiva implementação de um plano de manutenção requer não apenas a execução sistemática das ações planejadas, mas também o acompanhamento contínuo de resultados por meio de indicadores de desempenho (KPIs). Esses indicadores são ferramentas indispensáveis para o monitoramento, controle e avaliação da eficácia das estratégias de manutenção, possibilitando a identificação de desvios, a tomada de decisões embasadas e a promoção da melhoria contínua.

Segundo Souza (2008), os KPIs funcionam como instrumentos de retroalimentação do sistema, permitindo que os gestores verifiquem se as metas de confiabilidade, disponibilidade e custo estão sendo alcançadas. Smith e Mobley (2011) reforçam que a adoção de indicadores bem definidos contribui diretamente para a maturidade da gestão da manutenção, sendo um requisito essencial para organizações que desejam migrar de uma abordagem corretiva para uma atuação mais preventiva, preditiva ou baseada em risco.

Entre os principais KPIs aplicáveis ao contexto da engenharia de manutenção, destacam-se:

- **MTBF (Mean Time Between Failures) – Tempo Médio Entre Falhas:** Refere-se ao tempo médio decorrido entre duas falhas consecutivas de um mesmo equipamento. É um indicador de confiabilidade, ou seja, mede o quão frequentemente um equipamento tende a falhar. Quanto maior o MTBF, maior a confiabilidade do ativo (Mobley, 2011).
- **MTTR (Mean Time to Repair) – Tempo Médio de Reparo:** Indica o tempo médio necessário para restaurar um equipamento após a ocorrência de uma falha. Está diretamente relacionado à eficiência da equipe de manutenção e à agilidade na resposta às intervenções corretivas. Um MTTR reduzido contribui para a maior disponibilidade do sistema (Smith & Mobley, 2011).

- Disponibilidade Técnica: Refere-se ao percentual de tempo em que um equipamento permanece disponível para operação, considerando o tempo total de produção planejada. É calculado com base na fórmula:

$$\text{Disponibilidade} = (MTBF)/(MTBF + MTTR)$$

Segundo Kardec e Nascif (2009), a disponibilidade é um indicador crítico, pois sintetiza confiabilidade e manutenibilidade em um único parâmetro.

- Custo de Manutenção por Unidade Produzida: Este KPI relaciona o total de custos com manutenção (incluindo mão de obra, peças e serviços externos) com a quantidade de unidades produzidas no período. É útil para avaliar a eficiência econômica da manutenção, permitindo comparações entre períodos e setores da empresa (Souza, 2008).

- Índice de Manutenções Preventivas versus Corretivas: Mede a proporção entre ações planejadas e ações emergenciais, sendo um dos principais indicadores da maturidade do sistema de manutenção. Um índice mais favorável indica uma gestão proativa, com foco na prevenção de falhas. De acordo com Xenos (1998), manter uma proporção superior a 70% de intervenções preventivas é uma meta recomendada para sistemas bem gerenciados.

Esses e outros indicadores devem ser definidos de acordo com as características da planta industrial, os objetivos do plano de manutenção e a capacidade de coleta de dados da organização. É importante ressaltar que os KPIs devem ser utilizados não apenas como mecanismos de controle, mas também como ferramentas estratégicas para orientar melhorias, ajustar cronogramas, rever prioridades e justificar investimentos.

Além disso, o acompanhamento sistemático desses indicadores permite a validação do plano de manutenção proposto, fornecendo dados objetivos para avaliar sua eficácia ao longo do tempo e promover a evolução contínua do sistema de gestão de ativos.

2.6 A importância da manutenção em pequenas e médias empresas

Embora as grandes corporações industriais contem, em sua maioria, com estruturas organizacionais robustas, equipes técnicas especializadas e sistemas informatizados de gestão de ativos (como ERPs e CMMS), a realidade vivenciada por PMEs no Brasil ainda está distante

desse cenário ideal. Em muitas dessas organizações, a manutenção é conduzida de maneira empírica, sem padronização de procedimentos, sem registros históricos sistematizados e com forte dependência da experiência individual de operadores e técnicos (Silva & Lima, 2020; Lins & Oliveira, 2016).

Esse modelo operacional, muitas vezes informal, expõe as empresas a falhas críticas recorrentes, eleva os custos ocultos da produção e compromete a confiabilidade dos equipamentos. Além disso, a ausência de um sistema estruturado de manutenção dificulta o planejamento de paradas, o controle de estoque de peças sobressalentes e a previsão de investimentos em melhorias. Como destacam Batista, et al. (2019), essa informalidade reduz significativamente a competitividade dessas empresas, especialmente em mercados onde os clientes exigem qualidade, prazo e rastreabilidade.

Diante dessa realidade, o grande desafio enfrentado pelas PMEs é conciliar simplicidade operacional com a busca por eficiência técnica, implementando soluções viáveis, de baixo custo e adaptáveis à sua estrutura. Nesse sentido, metodologias como a RBM surgem como uma alternativa estratégica altamente aplicável, pois permitem priorizar os ativos mais críticos mesmo em contextos com limitação de dados históricos ou recursos tecnológicos (Kardec & Nascif, 2009; Bevilacqua, et al., 2009).

A RBM, ao fundamentar a priorização de ações de manutenção na combinação entre probabilidade de falha e severidade de impacto, viabiliza a construção de um plano técnico e racional mesmo em ambientes de baixa informatização. Essa abordagem, segundo Roda, Macchi e Fumagalli (2014), é especialmente eficaz para empresas que desejam iniciar a transição de um modelo reativo para uma manutenção mais estruturada, sem a necessidade de investimentos iniciais elevados em sensores, softwares ou automação industrial.

Investir em manutenção, nesses contextos, vai além da simples prevenção de falhas: torna-se uma decisão estratégica integrada à competitividade do negócio. A gestão de manutenção bem planejada impacta diretamente na qualidade dos produtos, na regularidade da produção, na otimização de custos operacionais e na construção de uma imagem corporativa mais sólida e confiável diante do mercado (Moblely, 2011; Parida & Kumar, 2006).

Além disso, a formalização de processos de manutenção pode servir como base para ganhos futuros em inovação e digitalização, facilitando, por exemplo, a adoção gradual de conceitos da Indústria 4.0, como manutenção preditiva baseada em IoT e sistemas inteligentes de decisão (García Arca & Prado, 2008). Dessa forma, mesmo empresas de menor porte podem

construir uma trajetória sustentável de crescimento e profissionalização, partindo de ferramentas simples, mas orientadas por critérios técnicos sólidos.

2.7 Estudos relacionados

A aplicação de metodologias estruturadas de manutenção tem sido amplamente estudada e documentada em diferentes setores industriais, refletindo a crescente preocupação das organizações com a confiabilidade dos ativos, redução de custos operacionais e aumento da competitividade. Diversos trabalhos acadêmicos têm contribuído para o desenvolvimento e a validação de abordagens como a RBM, a RCM e outras metodologias híbridas, adaptadas aos diferentes contextos produtivos.

Silva, et al. (2019), por exemplo, aplicaram a metodologia RBM em uma indústria de alimentos, setor caracterizado por processos contínuos e exigências rigorosas de segurança e higiene. Os autores demonstraram a viabilidade de aplicação da RBM mesmo na ausência de dados históricos, por meio da utilização de entrevistas com operadores e técnicos como base para a avaliação qualitativa dos ativos. O estudo mostrou que, mesmo com recursos limitados, foi possível priorizar os equipamentos mais críticos e estabelecer rotinas de manutenção mais eficazes.

Moreira (2021), por sua vez, propôs um plano de manutenção em uma indústria têxtil de médio porte, combinando a metodologia RBM com uma versão simplificada da FMEA. O foco do estudo foi a eficiência operacional e a racionalização de recursos, e o trabalho evidenciou que a adaptação de ferramentas clássicas às limitações estruturais da empresa permitiu resultados positivos em termos de redução de paradas e aumento da disponibilidade técnica dos equipamentos.

No setor mineral, Almeida (2021) realizou um estudo de aplicação da RCM em uma empresa de extração e beneficiamento de minerais. O autor identificou desafios significativos na implementação da metodologia em ambientes de baixa maturidade organizacional, o que exigiu adaptações na abordagem original, como o uso de critérios simplificados de análise e maior envolvimento da equipe de operação na construção do plano de manutenção.

Outros autores também contribuíram para o avanço da literatura aplicada. Amaral, et al. (2020) utilizaram uma abordagem multicritério baseada em AHP para priorizar ativos críticos em uma empresa do setor metalúrgico, enquanto Rodrigues e Vieira (2018) analisaram

a aplicação da RCM em uma cooperativa agroindustrial, evidenciando os ganhos de produtividade e confiabilidade mesmo em sistemas produtivos com características sazonais.

Gonçalves e Mendonça (2017) exploraram a adoção de um plano de manutenção preventiva em uma pequena empresa moveleira, demonstrando como práticas simples, mas sistematizadas, podem transformar a rotina operacional e ampliar o controle sobre falhas recorrentes. Já Cruz, et al. (2022) investigaram o uso da RBM em uma usina termoeletrica, com ênfase na redução do tempo médio de indisponibilidade de turbinas e sistemas de controle, utilizando indicadores como MTTR e MTBF para monitoramento de desempenho pós-implantação.

Além desses exemplos, trabalhos como o de Carvalho e Silveira (2020) — que aplicaram FMEA em um ambiente hospitalar — e de Oliveira, et al. (2021), em uma fábrica de bebidas, reforçam a versatilidade das metodologias de manutenção estruturada, que podem ser adaptadas a distintos segmentos produtivos, desde que respeitadas as particularidades técnicas e organizacionais de cada ambiente. Esses estudos, em sua totalidade, indicam que a adoção de metodologias sistematizadas de manutenção é vantajosa independentemente do porte da empresa ou do setor em que ela atua.

A chave para o sucesso está na capacidade de adaptação da abordagem teórica à realidade prática da organização, respeitando suas limitações operacionais, sua cultura interna e seus objetivos estratégicos. Quando bem aplicadas, tais metodologias geram ganhos mensuráveis em confiabilidade, segurança, produtividade e eficiência operacional, além de contribuir para a formação de uma cultura organizacional voltada à excelência técnica e à melhoria contínua.

3 METODOLOGIA

3.1 Problema de pesquisa

Considerando a realidade operacional da empresa, observa-se a ausência de um plano de manutenção sistematizado, estruturado com base em critérios técnicos e de priorização de ativos. A empresa, embora atue há mais de dez anos no mercado regional de rochas ornamentais, opera com práticas de manutenção predominantemente corretivas, ou seja, voltadas para a resolução de falhas apenas após sua ocorrência. Essa abordagem reativa, embora comum em empresas de pequeno e médio porte, compromete diretamente a eficiência da produção, eleva os custos operacionais e expõe os equipamentos a desgastes acelerados e falhas recorrentes.

Um exemplo claro dessa realidade é a recente manutenção completa realizada em março de 2025 pela empresa MTS Serviços, a primeira do tipo em um novo galpão de maior porte. Essa intervenção, embora necessária, acarretou atrasos significativos nos pedidos, resultando em uma diminuição da produção estimada entre 30% a 40% do volume usual. Além disso, a máquina de corte CNC, por exemplo, apresentava problemas recorrentes ao iniciar a semana, demorando entre 2 a 3 horas para se tornar totalmente funcional, ou até mesmo não ligando pela manhã inteira, o que impactava drasticamente a produtividade. Outro caso relevante é o da máquina politriz, que demonstrava instabilidade em realizar acabamentos específicos (como o "pingador"), exigindo que o trabalho fosse transferido para máquinas manuais, gerando acúmulo de peças e atrasos. A troca de peças para acabamentos (bisotes) na politriz, antes da manutenção, consumia de 2 a 3 horas por troca, ocorrendo cerca de 4 vezes ao dia, o que se traduzia em perdas de tempo significativas.

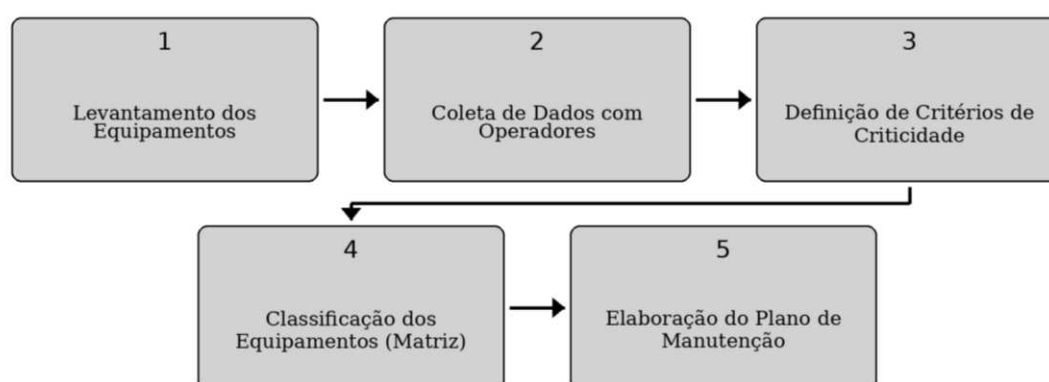
Além disso, a falta de registros históricos, indicadores de desempenho e procedimentos formalizados impede a construção de um processo de melhoria contínua, tornando a manutenção vulnerável à improvisação e à dependência excessiva do conhecimento empírico dos operadores. A carência de um sistema de monitoramento técnico e de critérios objetivos para a tomada de decisão acarreta também dificuldades na alocação eficiente de recursos, tanto humanos quanto materiais, afetando o desempenho geral do processo produtivo e a confiabilidade dos ativos.

Esse cenário torna evidente a necessidade de uma intervenção estruturada, que permita à organização sair da zona de vulnerabilidade técnica e caminhar rumo a uma gestão mais estratégica e racional dos seus recursos físicos. A implementação de um plano de manutenção orientado por risco apresenta-se, nesse contexto, como uma alternativa viável e coerente com o porte e as condições da empresa, possibilitando identificar, classificar e priorizar os ativos críticos, definindo intervenções direcionadas e ajustadas à realidade operacional da empresa. Diante desse panorama, emerge a seguinte questão-problema que norteia o presente trabalho:

Como estruturar um plano de manutenção técnica e operacionalmente viável para os principais equipamentos da empresa, considerando sua realidade organizacional e os riscos associados à falha dos ativos?

Essa pergunta fundamenta-se na busca por uma solução prática, acessível e tecnicamente embasada, capaz de elevar o grau de confiabilidade dos equipamentos da empresa sem exigir a adoção imediata de tecnologias complexas ou sistemas sofisticados de gestão, ainda fora do alcance da estrutura atual. A resposta a esse problema se delinea na aplicação de metodologias adaptáveis, como a Manutenção Baseada em Risco, que considera não apenas a frequência de falhas, mas também as consequências que cada tipo de falha pode gerar, permitindo um planejamento mais inteligente e eficaz da manutenção. A Figura abaixo mostra como se deu todo o processo metodológico do trabalho.

Figura 8 – Esquema simplificado dos passos do trabalho



Fonte: Autor (2025)

3.2 Caracterização da pesquisa

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) configura-se como um estudo de caso aplicado na empresa, localizada no interior do estado do Ceará, em Maranguape, a qual atua no segmento de beneficiamento e transformação de rochas ornamentais, como mármore e granito, para fins comerciais e construtivos. Trata-se de uma organização de médio porte com atuação regional, cuja cadeia produtiva é fortemente dependente do desempenho contínuo de máquinas operacionais, como serras ponte, cortadeiras longitudinais e politrizes de borda.

A pesquisa possui natureza aplicada, conforme a classificação de Gil (2019), pois objetiva oferecer uma solução concreta e tecnicamente fundamentada para um problema real enfrentado pela organização: a ausência de um plano de manutenção estruturado. O objetivo central não se limita à investigação acadêmica do fenômeno, mas busca a transformação prática da realidade operacional da empresa, com impacto direto na produtividade e na confiabilidade dos ativos.

Quanto à abordagem, o trabalho é desenvolvido sob um enfoque metodológico misto, contemplando tanto elementos qualitativos quanto quantitativos, porém predominantemente qualitativa. A vertente qualitativa manifesta-se na coleta e análise de informações empíricas, provenientes da observação no próprio local, de entrevistas semiestruturadas com operadores e técnicos, e do levantamento de percepções, práticas internas relacionadas à manutenção, com o uso de dados quantitativos simples (como frequência de falhas e tempo de parada) para embasar as decisões, em alinhamento com as diretrizes da manutenção baseada em risco. Já a abordagem quantitativa emerge da aplicação da matriz de risco, da análise de criticidade dos ativos e do uso de indicadores técnicos, como MTBF, MTTR e disponibilidade, permitindo a priorização técnica dos equipamentos e a estruturação lógica do plano de manutenção.

Do ponto de vista de seus objetivos, trata-se de uma pesquisa de caráter descritivo, exploratório e propositivo. É descritiva ao buscar representar, de forma sistematizada, a realidade atual da manutenção na empresa. É exploratória por investigar critérios de priorização de ativos e metodologias alternativas ainda não aplicadas no contexto estudado. É propositiva ao apresentar uma solução prática — o plano de manutenção baseado em risco — que poderá ser implantada pela organização, promovendo melhorias operacionais.

A estratégia metodológica adotada visa, sobretudo, compreender o contexto produtivo e técnico da empresa, identificar os ativos mais críticos sob a ótica da manutenção

industrial e, a partir disso, desenvolver um plano de manutenção adaptado à realidade local, tecnicamente viável e de fácil implementação. Para alcançar esse objetivo, foram consideradas tanto informações técnicas dos equipamentos, obtidas por meio de catálogos e manuais de operação, quanto dados empíricos coletados diretamente com a equipe da empresa, incluindo operadores experientes, técnicos de manutenção e o responsável pelo setor produtivo.

Essa combinação entre dados técnicos e conhecimento tácito — conforme defendem Yin (2015) e Godoy (1995) — fortalece a validade da proposta construída, respeitando as limitações do ambiente estudado e ampliando sua aplicabilidade prática. Ao integrar aspectos objetivos e subjetivos da realidade organizacional, o estudo alinha-se às boas práticas da pesquisa aplicada em engenharia, demonstrando coerência entre problema, objetivos e metodologia.

3.3 Justificativa metodológica

A adoção da metodologia de RBM neste estudo se justifica a partir das características operacionais e estruturais da empresa de rochas ornamentais. Embora a organização atue há mais de dez anos no setor de beneficiamento de rochas ornamentais e possua processos produtivos bem estabelecidos, verifica-se que sua gestão da manutenção ainda apresenta um grau de formalização incipiente, operando majoritariamente com práticas corretivas e com baixa sistematização de dados históricos.

Durante o levantamento de campo, constatou-se que não existem registros completos e contínuos sobre indicadores clássicos de confiabilidade, como o MTBF e o MTTR, tampouco uma base digital organizada de ordens de serviço, histórico de falhas ou cronogramas padronizados de manutenção preventiva. Esse cenário torna inviável, ao menos no período de estágio, a aplicação de metodologias mais exigentes em termos de maturidade organizacional e suporte informacional, como a RCM, conforme proposta por Moubray (1997) e referenciada por Kardec e Nascif (2009).

Entretanto, apesar da limitação no uso de dados formais, a empresa dispõe de um corpo técnico experiente e operários com conhecimento empírico aprofundado sobre o comportamento dos equipamentos, os padrões recorrentes de falhas e os impactos diretos de interrupções não planejadas sobre o fluxo produtivo. Esse conhecimento tácito, frequentemente subutilizado em sistemas convencionais, representa uma fonte rica e legítima de informação qualitativa, perfeitamente compatível com os pressupostos da metodologia RBM, que permite

combinar critérios objetivos e subjetivos na avaliação da criticidade dos ativos (Bevilacqua, et al., 2009; Costa & Ribeiro, 2018).

A RBM se apresenta, portanto, como uma abordagem metodológica adequada e proporcional à realidade da empresa, por três motivos fundamentais:

1. Flexibilidade em contextos de baixa informatização, pois não depende exclusivamente de séries históricas ou sistemas avançados de controle, podendo ser aplicada com base em dados qualitativos validados por especialistas da operação;

2. Foco na priorização técnica e estratégica, orientando os esforços de manutenção para os ativos cuja falha representa maior risco, considerando as dimensões de probabilidade de falha, impacto na produção e impacto em segurança ou custo (Roda, et al., 2014);

3. Aplicabilidade em ambientes com recursos limitados, como tempo de parada restrito, equipes enxutas e orçamentos reduzidos, o que a torna viável para pequenas e médias empresas, como defendem Parida e Kumar (2006) e Amaral, et al. (2020).

Além disso, a RBM possibilita à empresa avançar gradualmente na maturidade da gestão de manutenção, uma vez que sua aplicação fomenta a criação de registros padronizados, classificações de ativos e planos estruturados, servindo como plataforma de transição para metodologias mais complexas no futuro, como a RCM ou mesmo estratégias preditivas baseadas em sensores (IoT), no contexto da Indústria 4.0 (Galar, et al., 2015; Paladini, 2012).

Dessa forma, a escolha pela RBM não apenas se alinha com a situação atual da empresa, mas também reflete um caminho estratégico e realista para sua profissionalização gradual, respeitando suas limitações e potencializando suas fortalezas internas — especialmente o conhecimento técnico acumulado de seus colaboradores e a importância crítica de seus equipamentos no processo produtivo.

3.4 Etapas da metodologia aplicada

A aplicação da metodologia de RBM no presente estudo foi cuidadosamente estruturada em cinco etapas principais, seguindo os princípios descritos por Bevilacqua, et al. (2009), Kardec e Nascif (2009) e Roda, et al. (2014). Cada uma dessas etapas foi desenvolvida de modo a garantir a aderência à realidade operacional da empresa, respeitando seus recursos

disponíveis, sua estrutura organizacional e o conhecimento técnico de seus colaboradores. As etapas seguidas neste trabalho são apresentadas na Figura 9 abaixo.

Figura 9 – Fluxograma geral da metodologia RBM aplicada



Fonte: Autor (2025)

Etapas 1 – Levantamento dos ativos produtivos

A primeira etapa consistiu na realização de um levantamento detalhado dos equipamentos que compõem o sistema produtivo da empresa, com foco nas máquinas utilizadas nas fases de corte, acabamento e modelagem de chapas de mármore e granito. Esse processo envolveu visitas técnicas ao setor de produção, vivência diária durante o período de estágio, observação direta das operações e entrevistas com operadores durante o expediente, a fim de garantir um mapeamento preciso e atualizado.

Cada equipamento foi identificado, descrito e cadastrado, considerando suas principais funções, localização na linha de produção, frequência de uso, histórico geral de falhas e importância relativa no processo. Essa identificação foi essencial para dar início à análise de criticidade e para a posterior definição das prioridades de manutenção.

Os ativos produtivos contemplados na empresa são os seguintes:

- Serra ponte automática – Aço Art (CNC): equipamento de corte de alta precisão utilizado para o seccionamento primário das chapas, operando com controle automatizado e guias programáveis.

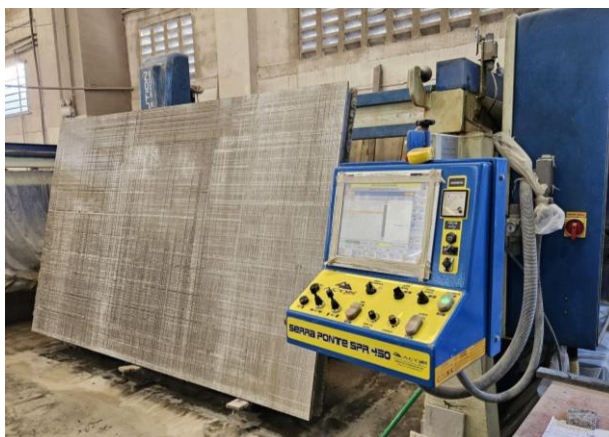
Figura 10 – Serra ponte automática – Aço Ar (CNC)



Fonte: Autor (2025)

- Serra ponte SPR 450 – Aço Art (CNC): modelo robusto e semiautomático, projetado para cortes retos e transversais em blocos e chapas maiores, com operação versátil em diferentes espessuras de materiais.

Figura 11 – Serra ponte SPR 450 – Aço Art (CNC)



Fonte: Autor (2025)

- Serra de corte manual – RDS Samec: equipamento operado manualmente, destinado a cortes específicos ou ajustes finais, sendo amplamente utilizado em operações sob demanda ou peças de menor escala.

Figura 12 – Serra de corte manual – RDS Samec



Fonte: Autor (2025)

- Politriz de borda interna RPI08 – Aço Art: máquina especializada no polimento de bordas internas, utilizada para acabamentos em peças que exigem qualidade estética e precisão dimensional.

Figura 13 – Politriz de borda interna RPI08 – Aço Art



Fonte: Autor (2025)

- Politriz de borda automática RPB 11s – Aço Art: equipamento automatizado para acabamento contínuo de bordas externas, fundamental para aumentar a produtividade e padronização do acabamento superficial.

Figura 14 – Politriz de borda automática RPB 11s – Aço Art



Fonte: Autor (2025)

- Cortadeira longitudinal fixa RR 350 45° – Aço Art: máquina voltada para cortes retilíneos fixos, com ajuste de ângulo em 45°, utilizada em operações repetitivas e de alto volume.

Figura 15 – Cortadeira longitudinal fixa RR 350 45° - Aço Art



Fonte: Autor (2025)

- Cortadeira longitudinal meia esquadria RR 350/45° – Aço Art: semelhante ao modelo anterior, mas com maior flexibilidade de operação, permitindo cortes em meia esquadria com precisão em ângulos diferenciados.

Figura 16 – Cortadeira longitudinal meia esquadria RR 350/45° – Aço Art



Fonte: Autor (2025)

Todos esses ativos possuem papel fundamental na linha de produção da empresa, sendo responsáveis por etapas críticas do processo de transformação da matéria-prima em produto final. A identificação adequada desses equipamentos foi imprescindível para as próximas fases do estudo, como a análise de criticidade, classificação de risco e elaboração das rotinas de manutenção.

Além disso, esse levantamento permitiu compreender o grau de interdependência entre os ativos e identificar gargalos produtivos associados à sua indisponibilidade, elementos que impactam diretamente na formação do plano de manutenção baseado em risco proposto neste trabalho.

Etapa 2 – Coleta de dados operacionais e qualitativos

A segunda etapa consistiu na coleta sistemática de dados operacionais e informações qualitativas sobre os ativos identificados, com o objetivo de embasar a análise de criticidade a ser realizada. Para isso, adotou-se uma abordagem mista, contemplando observação direta das rotinas produtivas, análise preliminar de registros disponíveis (ainda que limitados), e entrevistas semiestruturadas com os operadores das máquinas e com o engenheiro de produção da empresa. Devido à ausência de sistemas formais de registro de falhas e manutenções, utilizou-se a coleta direta com operadores e gestores. Por meio de entrevistas informais e observações, foram levantadas informações como frequência estimada de paradas

por falha, impacto da falha na produção, custo e tempo de reparo e dificuldade de acesso técnico.

Essas entrevistas foram fundamentais para captar o conhecimento tácito dos profissionais envolvidos no processo produtivo, conforme defendem Godoy (1995) e Yin (2015), que apontam o valor da experiência prática como insumo legítimo na construção de análises qualitativas em estudos de caso. As informações obtidas foram organizadas em categorias que refletissem os principais critérios de avaliação de risco utilizados na metodologia RBM. Dentre os dados levantados, destacam-se:

- Frequência de uso e grau de dependência produtiva de cada equipamento, com foco na sua importância relativa no fluxo operacional e nas possíveis consequências de sua indisponibilidade;
- Histórico de falhas mais comuns, incluindo descrição das ocorrências, sintomas recorrentes, e causas prováveis, ainda que sem registros formais padronizados;
- Impacto das falhas na produção e na segurança, considerando atrasos, perdas de matéria-prima, retrabalho, riscos de acidentes e necessidade de paradas emergenciais;
- Nível de dificuldade e custo das manutenções corretivas, levando em conta tempo de reparo, necessidade de peças sobressalentes específicas, e dependência de mão de obra especializada.

Esses dados formaram a base para a avaliação qualitativa dos ativos e permitiram a transição para a etapa seguinte: a construção da matriz de risco e análise de criticidade, que foram obtidos através de entrevistas com operadores e técnicos, onde se teve a transformação de dados qualitativos para quantitativos, a fim de se ter melhor visão da análise de risco dos equipamentos.

Figura 17 – Imagem de exemplo de matriz análise de risco

ANÁLISE DE RISCO

		IMPACTO →				
		INSIGNIFICANTE (x1)	MENOR (x2)	MODERADO (x3)	MAIOR (x4)	CATASTRÓFICO (x5)
PROBABILIDADE ↑	QUASE CERTO (x5)	MÉDIO (5)	ALTO (10)	ALTO (15)	CRÍTICO (20)	CRÍTICO (25)
	PROVÁVEL (x4)	MÉDIO (4)	MÉDIO (8)	ALTO (12)	ALTO (16)	CRÍTICO (20)
	POSSÍVEL (x3)	BAIXO (3)	MÉDIO (6)	MÉDIO (9)	ALTO (12)	ALTO (15)
	IMPROVÁVEL (x2)	BAIXO (2)	MÉDIO (4)	MÉDIO (6)	MÉDIO (8)	ALTO (10)
	RARO (x1)	BAIXO (1)	BAIXO (2)	BAIXO (3)	MÉDIO (4)	MÉDIO (5)

Fonte: Autor (2025)

Etapa 3 – Análise de criticidade por meio da matriz de risco

Nesta etapa, os dados obtidos foram organizados e interpretados por meio da construção de uma matriz de risco, técnica amplamente utilizada em sistemas de engenharia de manutenção e recomendada em normas como a ABNT NBR ISO 31000 e na literatura técnica especializada (Bevilacqua, et al., 2009; Roda, et al., 2014). O objetivo foi classificar os ativos quanto ao seu grau de criticidade, com base na interação entre três fatores fundamentais:

- Probabilidade de falha (P): estimativa da frequência com que o equipamento apresenta falhas, com base em observação empírica e relatos da equipe de manutenção;
- Impacto na produção (IP): avaliação da consequência de uma falha sobre o fluxo produtivo, considerando atrasos, perdas e interrupções;
- Impacto na segurança e/ou custo (IS): análise das consequências da falha em termos de risco ao operador, necessidade de substituições onerosas ou desperdício de material.

Cada um desses fatores recebeu uma pontuação de 1 a 5, conforme critérios previamente definidos com base nas práticas da empresa e adaptados de modelos de risco propostos por Mobley (2011) e Kardec & Nascif (2009). A partir disso, foi calculado o Índice de Risco (IR) para cada equipamento, segundo a fórmula:

$$IR = P \times IP \times IS$$

Os valores obtidos foram então interpretados segundo a seguinte escala de criticidade:

- Baixa criticidade: $IR < 20$
- Média criticidade: $20 \leq IR < 50$
- Alta criticidade: $IR \geq 50$

Essa classificação permitiu visualizar os equipamentos mais suscetíveis a falhas críticas, orientando as ações de manutenção e a alocação de recursos de forma técnica e justificada.

Etapa 4 – Priorização das intervenções de manutenção

Com os ativos devidamente classificados conforme seu grau de criticidade, foi possível definir estratégias de manutenção direcionadas, priorizando os equipamentos classificados como de alta criticidade. Essa priorização seguiu o princípio defendido por Parida e Kumar (2006), segundo o qual os recursos disponíveis devem ser concentrados nas áreas de maior risco operacional e impacto potencial.

Para cada equipamento com IR elevado, foram analisadas as ações de manutenção mais adequadas, considerando não apenas a frequência de intervenções, mas também o tipo de manutenção mais compatível com sua função, importância e comportamento histórico. Com isso, foi possível estruturar uma base técnica sólida para a formulação do plano de manutenção, garantindo que as intervenções fossem planejadas com racionalidade e coerência.

Além disso, essa etapa contribuiu para identificar pontos de melhoria no processo de manutenção atual, como a necessidade de padronização de inspeções, desenvolvimento de checklists e capacitação técnica específica para equipamentos sensíveis.

Etapa 5 – Elaboração do plano de manutenção baseado em risco

Com base nas análises anteriores, foi elaborada a proposta final de um plano de manutenção baseado em risco, ajustado à realidade operacional da empresa. O plano incluiu também sugestões de frequência, responsáveis e possíveis KPIs futuros, como MTBF e tempo médio de parada. Assim, foi estruturado de forma clara e funcional, contendo os seguintes elementos:

- Equipamento e subsistema analisado: identificação precisa dos ativos e, quando aplicável, de seus componentes críticos;
- Tipo de manutenção recomendada: definição entre ações preventivas, corretivas programadas, preditivas ou detectivas, conforme a classificação de criticidade;
- Periodicidade sugerida: intervalo ideal entre as inspeções ou intervenções, com base no uso e histórico operacional;
- Recursos necessários: especificação da mão de obra envolvida, peças de reposição, ferramentas e instrumentos de medição necessários;
- Responsáveis pela execução: indicação dos profissionais ou áreas encarregadas pela realização de cada ação.

O plano proposto busca otimizar o uso dos recursos técnicos e humanos da empresa, promover a redução de falhas inesperadas, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e criar condições para o amadurecimento gradual da gestão da manutenção.

3.5 Considerações finais da metodologia

A aplicação da metodologia RBM mostrou-se extremamente adequada ao contexto técnico e organizacional da empresa de mármore e granitos, atendendo tanto às limitações estruturais da empresa quanto à complexidade das decisões necessárias para a melhoria da confiabilidade operacional. Sua principal força está na flexibilidade de aplicação, especialmente em cenários onde não há disponibilidade de registros históricos extensos ou sistemas informatizados de gestão de manutenção (Bevilacqua, et al., 2009; Roda, et al., 2014).

Diferentemente de metodologias mais exigentes, como a RCM, que requer um alto grau de maturidade organizacional, banco de dados robusto e suporte técnico contínuo (Moubray, 1997; Kardec & Nascif, 2009), a RBM permitiu estruturar um modelo eficaz de priorização com base em dados empíricos e observações de campo, corroborando a ideia de que o conhecimento tácito dos operadores e técnicos é uma fonte legítima de informação para análise de risco (Godoy, 1995; Yin, 2015).

A aplicação da RBM, estruturada em etapas metodológicas bem definidas — desde o levantamento de ativos, passando pela análise de criticidade com matriz de risco, até a elaboração de um plano de manutenção direcionado — permitiu a construção de um modelo de gestão mais racional, sem a necessidade de investimentos tecnológicos elevados. Isso é

especialmente valioso em empresas de pequeno e médio porte, como destaca Parida & Kumar (2006), onde as decisões precisam aliar simplicidade e impacto operacional real.

Outro ponto relevante observado foi a capacidade da RBM de gerar resultados com foco estratégico, ao permitir que os gestores concentrem os esforços nos ativos de maior risco, com base em critérios como probabilidade de falha, impacto na produção e impacto na segurança/custo (Galar, et al., 2015). Isso contribui não apenas para a melhoria da disponibilidade dos equipamentos, mas também para a criação de uma cultura de manutenção mais proativa, como defendido por Paladini (2012).

Com isso, a metodologia adotada neste trabalho consolidou-se como uma ferramenta viável, realista e tecnicamente embasada, permitindo à empresa iniciar um processo de profissionalização da manutenção industrial. A etapa seguinte deste trabalho apresenta a aplicação prática da RBM na empresa, por meio da matriz de risco consolidada e do plano de manutenção desenvolvido a partir das classificações obtidas, convertendo as análises em diretrizes operacionais aplicáveis.

4 RESULTADOS E DISCOSSÕES

4.1 Introdução à aplicação

Neste capítulo, apresenta-se a aplicação prática da metodologia de Manutenção Baseada em Risco no contexto real da empresa, situada no interior do Ceará, na cidade de Maranguape. Trata-se da fase operacional do estudo, na qual as diretrizes metodológicas definidas no capítulo anterior são efetivamente implementadas, com vistas à estruturação de um plano de manutenção realista, técnico e aplicável à rotina da organização.

O processo de aplicação iniciou-se com o levantamento dos dados operacionais e qualitativos, incluindo informações sobre os equipamentos produtivos, frequência de uso, histórico de falhas, impactos nas operações e dificuldades enfrentadas nas manutenções corretivas. Esses dados foram obtidos por meio de observações diretas, registros internos existentes e, sobretudo, entrevistas com operadores, aproveitando o conhecimento empírico e tácito da equipe da empresa, conforme recomendado por Yin (2015) e Godoy (1995) em estudos de caso qualitativos.

Em seguida, foi realizada uma análise sistemática dos ativos, buscando identificar os equipamentos mais críticos com base na probabilidade de falha, no impacto produtivo e nos riscos à segurança ou ao custo operacional. A partir desses critérios, construiu-se a matriz de risco que permitiu quantificar o IR de cada ativo, estabelecendo níveis de criticidade e orientando a definição das prioridades de manutenção.

A relevância dessa etapa está no fato de que ela conecta a teoria à realidade operacional da empresa, permitindo que decisões técnicas sejam tomadas com base em evidências e critérios objetivos, mesmo em um ambiente onde não há grande suporte tecnológico ou histórico detalhado de dados. Conforme defendido por Bevilacqua, et al. (2009) e Paladini (2012), a RBM tem como uma de suas virtudes a capacidade de viabilizar análises robustas mesmo em organizações de baixa maturidade gerencial, o que a torna altamente aplicável a empresas como a deste estudo de caso.

Dessa forma, este capítulo representa a fase inicial e fundamental do processo de transformação da manutenção na empresa, ao proporcionar uma visão clara do comportamento dos equipamentos, das vulnerabilidades do sistema produtivo e das ações prioritárias que deverão ser implantadas para a melhoria contínua da confiabilidade operacional.

4.2 Caracterização dos Equipamentos

A planta de produção da empresa analisada é composta por um conjunto de máquinas industriais voltadas à transformação de rochas ornamentais, abrangendo desde o corte bruto até o acabamento final das chapas. O arranjo produtivo da empresa é caracterizado por uma sequência de processos interdependentes, em que a confiabilidade dos equipamentos impacta diretamente a fluidez da produção, o cumprimento de prazos e a integridade das peças manufaturadas.

Neste estudo, foram selecionados os principais ativos responsáveis pelas etapas mais críticas do processo produtivo, com base em sua frequência de utilização, posição estratégica na linha de produção, histórico de falhas recorrentes e impacto operacional em caso de indisponibilidade. Esses equipamentos representam os principais gargalos operacionais e, portanto, são os que demandam maior atenção da gestão da manutenção.

A seguir, apresenta-se a lista dos equipamentos analisados, acompanhada de uma breve caracterização de seu papel funcional dentro da planta:

- **Serra ponte automática – CNC (Aço Art)**

Equipamento de corte primário com controle automatizado, utilizado para a abertura e dimensionamento inicial das chapas de rocha. Possui capacidade de operação contínua, sendo essencial para o início do ciclo produtivo.

- **Serra ponte SPR 450 – CNC (Aço Art)**

Modelo de serra semiautomática, empregada para cortes em maior profundidade e de grandes blocos. Atua como equipamento complementar à serra automática, permitindo versatilidade e precisão em cortes específicos.

- **Serra de corte manual (RDS Samec)**

Equipamento operado manualmente, usado para ajustes de corte finos, peças sob medida e recortes personalizados. Embora simples, sua indisponibilidade pode comprometer a flexibilidade da produção sob demanda.

- **Politriz de borda interna RPI08 (Aço Art)**

Máquina utilizada para o acabamento e polimento de bordas internas, essencial em peças com recortes detalhados ou cortes internos. Sua função é crítica em projetos personalizados e de alto valor agregado.

- **Politriz de borda automática RPB 11s (Aço Art)**

Equipamento de alta produtividade para polimento contínuo de bordas externas. Atua de forma automatizada e garante padronização estética e redução do tempo de acabamento manual.

- **Cortadeira longitudinal fixa RR 350 45° (Aço Art)**

Utilizada para cortes retos com ângulo fixo de 45 graus, é aplicada em chapas padronizadas para uso em escadas, bancadas e revestimentos. Opera com precisão e repetitividade, sendo essencial em grandes volumes de produção.

- **Cortadeira longitudinal meia esquadria RR 350/45° (Aço Art)**

Similar ao modelo anterior, mas com maior flexibilidade de ajuste de ângulo, permitindo cortes em meia esquadria com alto grau de precisão, especialmente em peças de acabamento arquitetônico

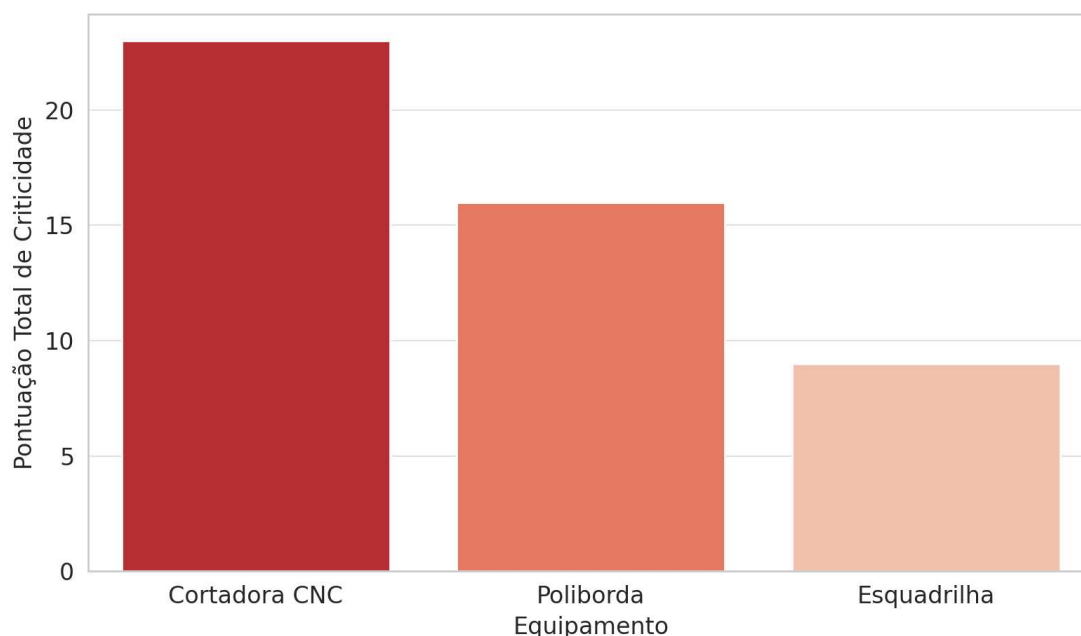
Para cada um desses ativos, foram levantadas informações como:

- Características operacionais e técnicas (capacidade, tipo de corte, automação);
- Frequência de uso na linha de produção;
- Localização na planta fabril, com destaque para interdependências;
- Tipo de operação realizada (corte bruto, acabamento, ajuste fino);
- Histórico geral de falhas, paradas ou intervenções anteriores, ainda que baseadas majoritariamente em registros informais e relatos da equipe.

Esse diagnóstico inicial foi essencial para subsidiar a análise de criticidade e construção da matriz de risco, contribuindo para a priorização técnica das intervenções de

manutenção e, por fim, para a elaboração do plano RBM adaptado à realidade operacional da empresa. Conforme ilustrado na Figura abaixo, que foi feito por através dos dados obtidos na empresa pelos operadores e técnico, e com a matriz de risco realizada anteriormente na etapa 2 – coleta de dados operacionais e qualitativos, mostra alguns equipamentos, como a cortadora CNC, apresentam maior criticidade em relação ao risco operacional.

Figura 18 – Pontuação total de criticidade dos equipamentos críticos



Fonte: Autor (2025)

A Figura acima apresenta um gráfico de barras construído a partir dos índices de criticidade calculados para os três equipamentos analisados (Cortadora CNC, Poliborda e Esquadria), obtidos pela soma das pontuações atribuídas em uma matriz de criticidade segundo critérios como probabilidade de falha e impacto no processo. Esses valores (23, 16 e 9 pontos, respectivamente) foram inseridos em uma planilha e representados no gráfico, em que o eixo horizontal indica os equipamentos e o eixo vertical mostra a pontuação total de criticidade, permitindo identificar visualmente qual máquina possui maior prioridade de intervenção.

4.3 Coleta e Tratamento de Dados

A etapa de coleta de dados operacionais e históricos constituiu um dos pilares da aplicação prática da metodologia RBM na empresa. Essa fase teve como objetivo reunir

informações técnicas, qualitativas e observacionais capazes de subsidiar a avaliação da criticidade dos ativos produtivos e a construção da matriz de risco.

Dada a natureza da empresa estudada — uma organização de porte médio com processos produtivos semi-artesanais e ainda em transição para práticas mais estruturadas de gestão industrial —, a coleta de dados foi orientada de forma a valorizar fontes formais e informais, reconhecendo a importância do conhecimento empírico acumulado pelos colaboradores ao longo dos anos de operação (Nonaka & Takeuchi, 1997; Godoy, 1995).

Para tal, foram realizadas visitas técnicas presenciais às instalações fabris, observando a rotina operacional das máquinas e seus respectivos operadores, além de um período de estágio na empresa. Paralelamente, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com operadores-chave, auxiliares técnicos e os trabalhadores de produção da empresa, seguindo os princípios de coleta qualitativa descritos por Gil (2019) e Yin (2015). As entrevistas buscaram capturar percepções práticas sobre falhas recorrentes, dificuldades operacionais, tempo médio de reparo, e impacto de paradas não planejadas.

Além disso, quando disponíveis, foram analisados registros documentais físicos, como anotações manuais de manutenção, fichas técnicas antigas e ordens de serviço arquivadas. Ainda que não sistematizados digitalmente, esses documentos forneceram pistas relevantes sobre o histórico de falhas e intervenções anteriores, contribuindo para a triangulação dos dados coletados.

Como a empresa ainda não dispõe de um sistema informatizado de gestão da manutenção (como CMMS ou ERP integrado), a base de dados operacionais é, em sua maioria, desestruturada e de natureza qualitativa — o que, longe de ser um entrave, reforça a adequação da metodologia RBM. Conforme apontado por Bevilacqua, et al. (2009) e Roda, et al. (2014), a RBM é especialmente eficaz em ambientes industriais onde o conhecimento tácito dos colaboradores é o principal insumo para a tomada de decisão.

Os dados considerados para cada ativo incluíram os seguintes aspectos:

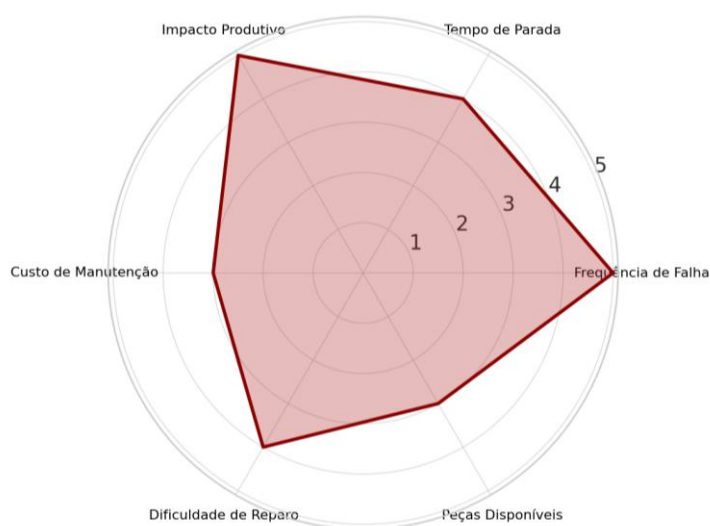
- Frequência de uso diário dos equipamentos: verificando quais ativos operam em turnos contínuos, quais são intermitentes e quais atuam como reserva técnica.
- Grau de impacto produtivo em caso de falha: medido a partir da capacidade do equipamento interromper o fluxo de produção, causar retrabalho ou atrasos no atendimento de pedidos

- Dificuldade de reposição de peças e disponibilidade de assistência técnica: considerando se os componentes são padronizados ou de fabricação específica, o tempo de entrega médio e o acesso a técnicos especializados.
- Histórico de intervenções corretivas e tempo médio de parada: estimado com base em relatos dos operadores e registros físicos, permitindo uma análise da frequência e severidade das falhas anteriores.

Esses elementos foram fundamentais para alimentar a matriz de risco e permitiram que a análise da criticidade fosse realizada mesmo na ausência de métricas quantitativas formais como MTBF e MTTR, conforme recomendado por Mobley (2011) e Galar, et al. (2015) para contextos de baixa maturidade em manutenção.

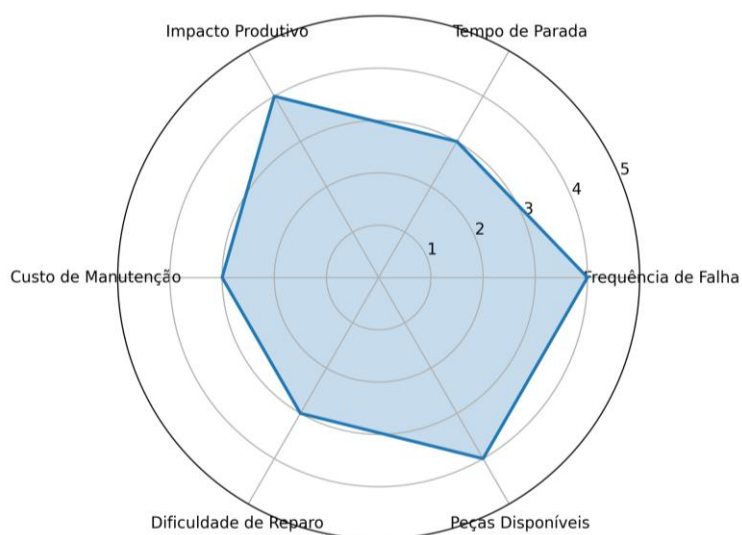
As Figuras a seguir apresentam gráficos de radar com os índices de criticidade obtidos para cada equipamento avaliado, que foram dados obtidos através de entrevistas feitas com os operadores e os técnicos, com critérios de pontos, permitindo comparar de forma visual quais as máquinas apresentam maior prioridade de intervenção.

Figura 19 – Índice de criticidade da máquina CNC



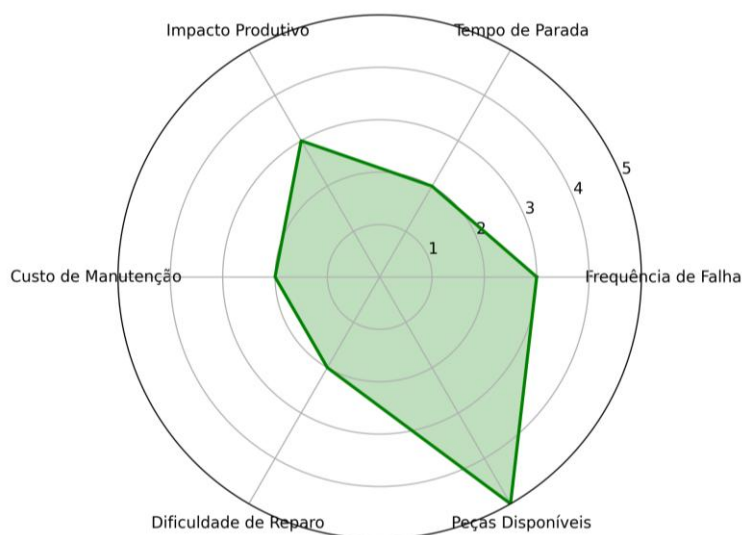
Fonte: Autor (2025)

Figura 20 – Índice de criticidade da máquina politriz



Fonte: Autor (2025)

Figura 21 – Índice de criticidade da máquina esquadria



Fonte: Autor (2025)

A abordagem integrada entre observação de campo, relatos de usuários e registros manuais demonstrou ser uma estratégia eficaz para levantar dados coerentes com a realidade fabril da empresa, validando a aplicação da RBM como ferramenta prática, adaptável e estratégica, conforme reforçado por Cruz, et al. (2022) e Parida & Kumar (2006).

4.4 Construção da Matriz de Risco

Com os dados operacionais devidamente levantados e organizados, a etapa seguinte consistiu na avaliação da criticidade dos equipamentos produtivos da empresa. Essa análise foi conduzida com base nos princípios da metodologia RBM, conforme recomendam Bevilacqua, et al. (2009), Mobley (2011) e a norma ABNT NBR ISO 31010, que trata da aplicação de técnicas de análise de risco em sistemas industriais.

Para cada equipamento previamente identificado na planta de produção, foram atribuídos valores escalares de 1 a 5 a três critérios fundamentais para a gestão da manutenção:

- Probabilidade de falha (P): estimativa baseada na frequência com que o equipamento apresentou falhas no passado recente, conforme relatos dos operadores e registros manuais disponíveis. Equipamentos com falhas recorrentes ou com sinais frequentes de desgaste operacional receberam pontuação mais alta.

- Impacto na produção (IP): medida do nível de paralisação ou comprometimento do processo produtivo em caso de falha do equipamento. Máquinas que causam interrupções em setores críticos ou geram gargalos produtivos foram pontuadas com maior severidade.

- Impacto na Segurança ou no Custo (IS): avaliação combinada entre o risco operacional à integridade física dos trabalhadores (como exposição a lâminas, calor ou peso excessivo) e o custo elevado de substituição ou manutenção corretiva do equipamento.

Esses três parâmetros foram ponderados de maneira equitativa e integrados por meio da seguinte fórmula, amplamente utilizada em modelos simplificados de análise de risco em manutenção:

$$\text{Índice de Risco (IR)} = P \times IP \times IS$$

O resultado da multiplicação entre os fatores gera o Índice de Risco, que permite quantificar o grau de risco associado a cada ativo. A interpretação dos valores seguiu uma escala

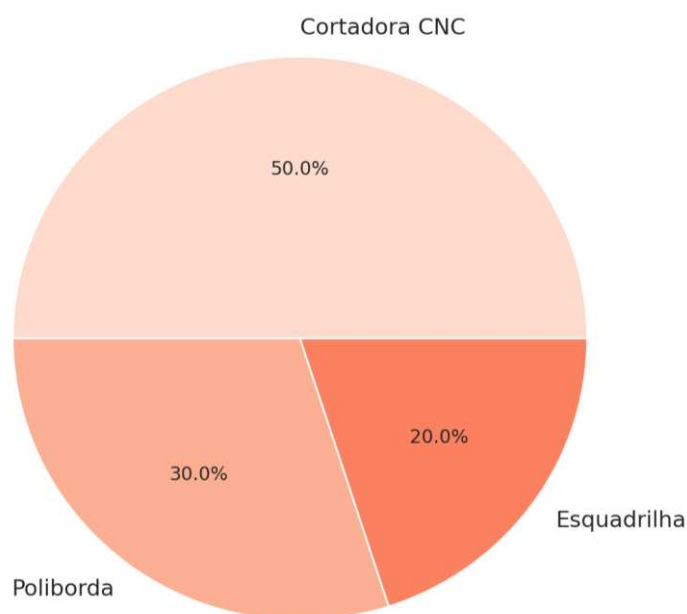
de criticidade adaptada da literatura técnica (Kardec & Nascif, 2009; Roda, et al., 2014), conforme apresentado abaixo:

- Alta Criticidade: $IR \geq 50$
- Média Criticidade: $20 \leq IR < 50$
- Baixa Criticidade: $IR < 20$

Essa classificação foi essencial para a estratégia de priorização de recursos e esforços de manutenção, permitindo que a empresa direcione suas ações técnicas, financeiras e humanas para os equipamentos de maior risco, alinhando-se às boas práticas de engenharia da confiabilidade e da gestão de ativos industriais (ISO 55000; Parida & Kumar, 2006).

Abaixo apresenta uma visão estimada da distribuição das falhas por tipo de equipamento. Logo abaixo, a Figura 22 apresenta um gráfico de pizza que ilustra a participação percentual de cada equipamento no índice total de criticidade obtido na análise, permitindo visualizar como o risco global se distribui entre as máquinas Cortadora CNC, Poliborda e Esquadria. Cada fatia representa a proporção da pontuação de criticidade de um equipamento em relação à soma das pontuações de todos os equipamentos, evidenciando quais deles concentram maior parcela do risco e, portanto, devem receber prioridade na alocação de recursos e esforços de manutenção.

Figura 22 – Distribuição percentual da criticidade por equipamento



Fonte: Autor (2025)

A imagem gerada com os dados coletados proporcionou uma visualização clara e objetiva das prioridades, permitindo ao gestor de manutenção uma tomada de decisão fundamentada e estratégica. Esse tipo de ferramenta é especialmente valioso em ambientes de recursos limitados, como em empresas de pequeno e médio porte, onde a alocação eficiente dos recursos é essencial para evitar falhas críticas e otimizar a produtividade (Cruz, et al., 2022; Amaral, et al., 2020). Além de seu uso técnico imediato, a matriz também serve como base para revisões periódicas do plano de manutenção.

4.5 Introdução aos Resultados

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos com a aplicação da metodologia RBM na empresa. Esta etapa tem como objetivo demonstrar a efetividade da abordagem adotada, com base na análise sistematizada dos dados coletados, na classificação dos equipamentos segundo seu nível de criticidade e na estruturação técnica do plano de manutenção resultante.

A partir das etapas descritas anteriormente — especialmente o levantamento de dados operacionais, a análise qualitativa dos ativos e a construção da matriz de risco — foi

possível atribuir índices de risco aos principais equipamentos da planta produtiva, permitindo a identificação dos ativos mais vulneráveis e com maior potencial de impacto sobre o desempenho global da produção.

Além da classificação dos equipamentos, o capítulo também aborda os modos de falha mais recorrentes identificados durante a coleta de dados, reforçando a importância de ações preventivas e estratégias específicas para mitigação de riscos. Essa abordagem segue a lógica defendida por Moubrey (1997) e Mobley (2011), de que a compreensão do comportamento histórico das falhas é essencial para a construção de planos de manutenção mais precisos, eficientes e economicamente viáveis.

A análise dos dados permitiu ainda verificar a aderência da metodologia RBM ao contexto organizacional da empresa estudada, caracterizado por uma estrutura enxuta, ausência de informatização plena na área de manutenção e forte presença de conhecimento empírico entre os operadores. Tais características são comuns em empresas de pequeno e médio porte e, conforme apontam autores como Bevilacqua, et al. (2009), Parida & Kumar (2006) e Roda, et al. (2014), reforçam a aplicabilidade da RBM em ambientes industriais com restrições operacionais.

Os resultados aqui consolidados comprovaram que a aplicação da RBM, mesmo em um ambiente fabril sem histórico digitalizado ou controle sistêmico da manutenção, pode gerar ganhos tangíveis em confiabilidade operacional, priorização de recursos e prevenção de falhas críticas. Além disso, a proposta construída servirá como base para a implementação gradual de práticas mais estruturadas de gestão de ativos, podendo futuramente evoluir para modelos mais complexos, como a manutenção preditiva e a integração com plataformas da Indústria 4.0 (Galar, et al., 2015).

4.6 Classificação dos Equipamentos por Criticidade

A partir da aplicação da matriz de risco apresentada no capítulo anterior, foi possível realizar a classificação dos principais equipamentos da planta produtiva da empresa de acordo com seu respectivo nível de criticidade. Essa etapa é essencial dentro da metodologia RBM, pois fornece uma base objetiva para a priorização das ações de manutenção, especialmente em contextos industriais onde os recursos técnicos, humanos e financeiros são limitados.

Conforme estabelecido na metodologia, a pontuação final de cada ativo foi calculada com base na fórmula:

$$IR = P \times IP \times IS$$

Onde:

- P (Probabilidade de Falha): indica a frequência estimada de falhas com base em observações e entrevistas;
- IP (Impacto na Produção): representa o grau de paralisação ou perda produtiva associada à falha do equipamento;
- IS (Impacto na Segurança ou no Custo): considera riscos de acidentes e os custos operacionais envolvidos em manutenções corretivas.

Com os valores atribuídos a cada equipamento, os índices de risco (IR) foram analisados segundo a seguinte escala de criticidade, conforme modelos propostos por Bevilacqua, et al. (2009) e adaptados por Roda, et al. (2014):

- Alta Criticidade: $IR \geq 50$
- Média Criticidade: $20 \leq IR < 50$
- Baixa Criticidade: $IR < 20$

A seguir, apresenta-se a classificação dos equipamentos da empresa conforme os dados levantados:

Figura 23 – Classificação do índice de risco por equipamento

Equipamento	P	IP	IS	$IR = P \times IP \times IS$	Classificação
Serra ponte automática (Aço Art)	4	5	4	80	Alta
Politriz de borda automática RPB 11s	4	4	4	64	Alta
Serra ponte SPR 450 (Aço Art)	3	4	4	48	Média
Politriz de borda interna RPI08	4	3	3	36	Média
Cortadeira longitudinal meia esquadria RR350	3	4	3	36	Média
Cortadeira longitudinal fixa RR 350	3	3	3	27	Média
Serra de corte manual (RDS Samec)	3	2	2	12	Baixa

Fonte: Autor (2025)

Como se observa, duas equipamentos foram classificados como de alta criticidade: a serra ponte automática e a politriz de borda automática. Tais ativos apresentam alto impacto tanto na produção quanto no custo de falha, sendo, portanto, os principais candidatos à priorização de recursos e à implementação de rotinas de manutenção mais rigorosas e frequentes.

Os demais equipamentos foram classificados como de média criticidade, e embora não representem riscos tão elevados, exigem atenção sistemática, especialmente na forma de inspeções periódicas e manutenções preventivas simples, que evitem o agravamento de falhas.

Essa análise possibilita uma visualização clara das prioridades e serve como ferramenta estratégica para a alocação racional dos esforços da equipe de manutenção, atendendo às recomendações da literatura técnica em gestão da confiabilidade (Mobley, 2011; Parida & Kumar, 2006) e estabelecendo uma base sólida para a construção do plano de manutenção personalizado, detalhado no próximo capítulo.

4.7 Análise dos Modos de Falha Relevantes

Após a classificação dos equipamentos por nível de criticidade, foi realizada uma análise dos modos de falha mais recorrentes nos ativos classificados como de alta e média criticidade, com o objetivo de compreender as causas mais frequentes de indisponibilidade e subsidiar o plano de manutenção. Essa análise baseou-se em relatos de operadores, observações diretas realizadas durante as visitas técnicas e, sempre que possível, em registros manuais de manutenções anteriores, ainda que informais.

A identificação dos modos de falha foi orientada pelo conceito de FMEA, que consiste em mapear os tipos de falha, seus efeitos e possíveis causas em sistemas produtivos, mesmo quando não se dispõe de bases de dados robustas (Stamatis, 2003; Moreira, 2021). Essa abordagem é especialmente útil em empresas de pequeno e médio porte, onde a expertise dos profissionais da operação é frequentemente a principal fonte de diagnóstico técnico (Nonaka & Takeuchi, 1997).

Dentre os principais modos de falha observados nos equipamentos da empresa de rochas ornamentais, destacam-se:

- **Desgaste de rolamentos:** identificado principalmente em politrizes e cortadeiras. Esse tipo de falha gera vibração excessiva, ruído elevado e instabilidade no movimento rotativo, podendo comprometer o acabamento das peças e forçar paradas para substituição de componentes.
- **Trincas e deformações em discos de corte:** recorrente nas serras ponte, especialmente nas automáticas. As trincas em discos diamantados resultam da fadiga térmica, impactos acidentais ou uso além do tempo recomendado, afetando diretamente a precisão do corte e podendo gerar riscos de acidentes.
- **Falhas em sensores e comandos elétricos:** observadas nos equipamentos automatizados. Incluem falhas em sensores de fim de curso, botões de emergência ou comandos de acionamento, que muitas vezes levam à paralisação inesperada das máquinas ou ao funcionamento inadequado dos ciclos programados.
- **Vazamentos em sistemas hidráulicos:** mais comuns em máquinas de corte que utilizam cilindros e atuadores hidráulicos para movimentações precisas. Vazamentos podem provocar perda de pressão, movimentos erráticos e até falhas funcionais completas.

Essas falhas, além de comprometerem a produtividade da linha de produção, influenciam diretamente na qualidade do produto final, uma vez que peças mal-acabadas, cortadas de forma irregular ou com polimento incompleto não atendem aos padrões exigidos pelos clientes e pelo mercado.

Conforme apontam Parida & Kumar (2006) e Mobley (2011), o impacto dos modos de falha não se limita ao aspecto técnico — ele se estende ao custo de retrabalho, à perda de materiais e à insatisfação do cliente final.

A análise desses modos de falha fornece, portanto, insumos fundamentais para o plano de manutenção a ser estruturado no capítulo seguinte, permitindo a escolha de estratégias preventivas ou preditivas mais adequadas a cada equipamento, com foco na redução de falhas recorrentes, aumento da disponibilidade técnica e preservação da vida útil dos ativos.

4.8 Discussão dos Resultados

A análise dos dados obtidos com a aplicação da metodologia, permitiu confirmar sua viabilidade prática em ambientes industriais de pequeno e médio porte, mesmo na ausência de sistemas informatizados de gestão da manutenção. No caso da empresa, caracterizada por uma estrutura fabril tradicional e forte dependência da experiência empírica dos operadores, a RBM se mostrou particularmente eficaz por valorizar o conhecimento tácito como insumo legítimo para a tomada de decisão (Nonaka & Takeuchi, 1997; Godoy, 1995).

A matriz de risco elaborada revelou-se uma ferramenta poderosa para a priorização técnica dos ativos, organizando as informações disponíveis de forma estruturada e racional. Sua construção viabilizou a classificação objetiva dos equipamentos por nível de criticidade, permitindo que os esforços de manutenção possam ser direcionados de maneira mais eficiente e estratégica, conforme preconizam Kardec & Nascif (2009) e Bevilacqua, et al. (2009).

Os resultados obtidos indicam que a concentração de recursos nos equipamentos classificados como de alta e média criticidade — os quais representam maior impacto produtivo, risco operacional ou custo de falha — tende a gerar benefícios diretos sobre a disponibilidade técnica da planta e a redução de paradas não planejadas, uma das principais causas de perdas operacionais no setor de beneficiamento de rochas (Cruz, et al., 2022; Parida & Kumar, 2006).

Além disso, ao identificar os modos de falha mais recorrentes, como desgaste de rolamentos, falhas elétricas e problemas em sistemas hidráulicos, foi possível compreender a

origem das falhas recorrentes e propor ações que não apenas solucionem, mas também previnam sua recorrência. A incorporação desses dados ao plano de manutenção representa um avanço significativo na maturidade da gestão de ativos da empresa, ainda que em estágio inicial.

A metodologia demonstrou ainda potencial para impulsionar mudanças culturais dentro da organização, ao introduzir um modelo lógico de priorização e estimular a valorização do planejamento técnico. Conforme defendem Mobley (2011) e Galar, et al. (2015), essa mudança de postura é um passo essencial para que a manutenção deixe de ser apenas reativa e passe a assumir um papel estratégico, alinhado aos objetivos de produtividade, qualidade e segurança.

Portanto, os resultados aqui discutidos reforçam que a RBM é uma metodologia compatível com a realidade da empresa, oferecendo uma base sólida e replicável para a implantação de um plano de manutenção técnico, funcional e escalável. O próximo capítulo apresentará a estruturação final desse plano, detalhando os tipos de manutenção recomendados, periodicidade, recursos necessários e responsáveis, com base nas evidências analisadas até o momento.

4.9 Introdução ao Plano de Manutenção

Este capítulo tem como finalidade apresentar a estruturação do Plano de Manutenção Baseado em Risco, elaborado especificamente para os principais equipamentos produtivos da empresa. Trata-se de um plano técnico, sistematizado e adaptado à realidade operacional da organização, cuja função central é mitigar os riscos identificados na matriz de criticidade discutida no capítulo anterior, promovendo melhorias na confiabilidade, segurança e disponibilidade dos ativos.

A proposta desenvolvida baseia-se no princípio da priorização de ativos críticos, ou seja, os equipamentos com maior IR foram colocados em evidência na definição das ações de manutenção, como forma de concentrar recursos técnicos, humanos e financeiros onde há maior potencial de impacto produtivo ou operacional. Tal abordagem está em conformidade com os fundamentos da engenharia de confiabilidade e com a lógica de priorização estratégica descrita por autores como Mobley (2011), Parida & Kumar (2006) e Roda, et al. (2014). A construção do plano contempla ações integradas de:

- Manutenção preventiva: baseada em periodicidade e tempo de uso, com foco na antecipação de falhas previsíveis;
- Manutenção corretiva programada: aplicada em casos em que o risco de falha é menor, mas cuja reparação pode ser feita com tempo de resposta adequado;
- Manutenção preditiva (sempre que viável): utilizando inspeções visuais, sensoriais e operacionais simples para detectar sinais de desgaste, vibração ou anomalias antes da falha ocorrer.

É importante destacar que a estruturação do plano não se baseia unicamente em referências técnicas de manuais de fabricantes, mas também incorpora o conhecimento empírico acumulado pelos operadores e técnicos da empresa, conforme defendem Godoy (1995) e Nonaka & Takeuchi (1997). Isso permite alinhar a teoria à prática, garantindo que o plano seja tecnicamente fundamentado e, ao mesmo tempo, viável de ser implementado com os recursos e a cultura organizacional existentes.

Outro diferencial do plano proposto é o reconhecimento das limitações técnicas e operacionais da empresa, como a ausência de um sistema informatizado de controle de ordens de serviço, o estoque reduzido de peças sobressalentes e o número limitado de colaboradores no setor de manutenção. Por isso, as ações sugeridas são objetivas, operacionais e orientadas à realidade da planta, priorizando intervenções que possam ser executadas com a infraestrutura atual.

Dessa forma, este capítulo representa a materialização prática da análise realizada até aqui, transformando os dados coletados e as avaliações de risco em um conjunto estruturado de ações técnicas para controle, prevenção e redução de falhas nos ativos críticos da empresa. Nos tópicos seguintes, será apresentado o plano detalhado, incluindo os tipos de manutenção recomendados para cada equipamento, a periodicidade sugerida, os recursos necessários e os responsáveis por cada tarefa.

4.10 Estrutura do Plano de Manutenção

A estrutura do Plano de Manutenção Baseado em Risco proposto para a empresa foi concebida com o objetivo de traduzir os resultados da análise de criticidade em ações operacionais objetivas e viáveis, respeitando a realidade organizacional da empresa. A lógica do plano segue os princípios fundamentais da gestão da manutenção moderna, com ênfase na

prevenção de falhas, otimização de recursos e aumento da confiabilidade operacional dos ativos (Moblely, 2011; Parida & Kumar, 2006).

Para garantir clareza e aplicabilidade, cada atividade de manutenção foi detalhada segundo um formato padronizado, o que facilita sua execução, controle e eventual revisão futura. Essa padronização também contribui para a criação de rotinas técnicas documentadas, um passo importante para a evolução da maturidade da manutenção da empresa.

Cada ação de manutenção prevista no plano contempla os seguintes elementos:

- Identificação do equipamento e do subsistema: descrição técnica do ativo, sua localização na planta e, quando necessário, especificação do componente ou subsistema alvo da intervenção (ex: motor, sistema hidráulico, eixo de transmissão).
- Tipo de manutenção sugerida: categorização da atividade como preventiva, corretiva programada ou preditiva, de acordo com a criticidade do equipamento, os modos de falha mais prováveis e a possibilidade de monitoramento.
- Descrição da atividade de manutenção: apresentação clara da ação a ser executada, incluindo inspeções, ajustes, trocas de peças, medições ou lubrificações específicas. Sempre que possível, a descrição segue os manuais dos fabricantes e boas práticas técnicas.
- Periodicidade recomendada: intervalo ideal para a execução da atividade, definido com base na frequência de uso, risco de falha e observações práticas da equipe da empresa. Quando aplicável, adota-se uma periodicidade mensal, semanal ou por número de horas operacionais.
- Profissional responsável pela execução: indicação do perfil técnico recomendado para a tarefa (operador treinado, auxiliar de manutenção, técnico eletromecânico, etc.), considerando a complexidade da atividade e as competências requeridas.
- Recursos necessários: especificação dos materiais, ferramentas, peças sobressalentes e EPIs necessários para a execução segura e eficaz da tarefa.

Esse modelo organizacional permite que o plano atue como um instrumento gerencial e técnico, sendo útil tanto para o setor de manutenção quanto para os gestores da produção. Além disso, ao manter foco nos ativos mais críticos, o plano contribui para a redução de paradas não planejadas, conforme indicam Cruz, et al. (2022), e para o fortalecimento de uma cultura de manutenção preventiva e estruturada, um dos principais pilares da engenharia da confiabilidade (Paladini, 2012).

4.11 Plano por Equipamento

A seguir, apresenta-se o detalhamento técnico das ações de manutenção planejadas por equipamento, com base nos índices de criticidade levantados anteriormente. Foram priorizados os ativos classificados como de alta e média criticidade, por exercerem maior influência sobre a confiabilidade da produção e representarem maiores riscos operacionais e econômicos.

A estruturação das manutenções considera os modos de falha recorrentes, a frequência ideal de inspeção ou intervenção e os recursos necessários para sua execução. Sempre que possível, foram incluídas ações de manutenção preventiva, preditiva, programada e educacional, com o objetivo de equilibrar a disponibilidade dos ativos com a capacidade operacional da empresa.

4.11.1 Serra Ponte Automática – CNC (Aço Art)

Possui Criticidade Alta (IR = 80) e Falhas recorrentes (desalinhamento de trilhos, desgaste do motor, falha nos sensores de fim de curso).

Manutenções propostas:

- Verificação semanal do alinhamento dos trilhos
 - Tipo: Preventiva
 - Descrição: Utilizar régua metálica e nível de bolha para garantir paralelismo entre as guias.
 - Responsável: Técnico de manutenção mecânica
 - Recursos: Ferramentas de medição, chaves Allen, EPIs
- Lubrificação quinzenal dos componentes móveis
 - Tipo: Preventiva
 - Descrição: Aplicação de graxa ou óleo nos trilhos e engrenagens.
 - Responsável: Auxiliar técnico
 - Recursos: Lubrificantes específicos, pincéis, panos limpos
- Inspeção elétrica mensal
 - Tipo: Preventiva
 - Descrição: Checagem do painel de comando, conexões e sensores.

- Responsável: Eletricista
- Recursos: Multímetro, chave de fenda isolada, EPIs
- Substituição de sensores e limpeza do painel a cada 3 meses
 - Tipo: Preditiva
 - Descrição: Avaliação de resposta dos sensores, troca se houver inconsistência.
 - Responsável: Técnico eletromecânico
 - Recursos: Sensores sobressalentes, flanela, pincel antiestático
- Treinamento dos operadores para ruídos e vibrações incomuns
 - Tipo: Educacional
 - Descrição: Capacitação informal com checklist de anomalias sonoras.
 - Responsável: Supervisor de produção
 - Recursos: Ficha orientativa, EPIs

4.11.2 Politriz de Borda Automática RPB 11s (Aço Art)

Possui Criticidade Alta (IR = 64) e Falhas recorrentes (entupimento de canaletas, falha no motor, vibração excessiva).

Manutenções propostas:

- Limpeza diária das canaletas
 - Tipo: Preventiva
 - Descrição: Remoção de resíduos acumulados com jato de ar ou escova.
 - Responsável: Operador
 - Recursos: Escovas metálicas, ar comprimido
- Revisão quinzenal dos acoplamentos
 - Tipo: Preventiva
 - Descrição: Verificação do aperto e alinhamento.
 - Responsável: Técnico de manutenção
 - Recursos: Chaves específicas, calibradores
- Balanceamento rotacional bimestral
 - Tipo: Preditiva
 - Descrição: Verificar vibração com sensor portátil.
 - Responsável: Técnico especializado

- Recursos: Analisador de vibração, EPIs
- Troca de correias a cada 6 meses
 - Tipo: Programada
 - Descrição: Verificação de desgaste e substituição preventiva.
 - Responsável: Mecânico industrial
 - Recursos: Correias sobressalentes, chave de boca
- Inspeção dos sensores e relés de comando mensalmente
 - Tipo: Preventiva
 - Descrição: Teste de acionamento e continuidade.
 - Responsável: Eletricista
 - Recursos: Multímetro, relés reserva

4.11.3 Serra Ponte SPR 450 – CNC (Aço Art)

Possui Criticidade Média (IR = 48).

Manutenções propostas:

- Lubrificação quinzenal dos eixos móveis
- Ajustes no sistema hidráulico mensalmente
- Calibração dos sistemas de corte a laser a cada 3 meses
- Substituição programada de polias a cada 12 meses

4.11.4 Politriz de Borda Interna RPI08 (Aço Art)

Possui Criticidade Média (IR = 36).

Manutenções propostas:

- Limpeza do circuito de refrigeração após cada uso
- Revisão das mangueiras hidráulicas mensalmente
- Treinamento periódico para uso correto do painel de comando

4.11.5 Cortadeira Longitudinal Meia Esquadria RR350/45° (Aço Art)

Possui Criticidade Média (IR = 36).

Manutenções propostas:

- Ajuste quinzenal dos ângulos de corte
- Revisão trimestral do motor de acionamento
- Substituição anual dos sistemas de fixação

4.11.6 Cortadeira Longitudinal Fixa RR 350 45° (Aço Art)

Possui Criticidade Média (IR = 27).

Manutenções propostas:

- Inspeção visual semanal dos trilhos e estrutura
- Verificação mensal dos cabos de alimentação
- Limpeza e lubrificação dos mancais a cada 60 dias

4.11.7 Serra de Corte Manual (RDS Samec)

Possui Criticidade Baixa (IR = 12).

Manutenções propostas:

- Treinamento anual de segurança para operadores
- Inspeção de desgaste de disco semanal
- Substituição programada de cabos de alimentação a cada 18 meses

4.12 Cronograma Sugerido de Execução

A implementação efetiva de um plano de manutenção industrial requer, além da definição das atividades técnicas, a elaboração de um cronograma realista e funcional, que considere tanto a periodicidade recomendada para cada ação quanto a disponibilidade operacional da equipe técnica. Um cronograma bem estruturado permite distribuir os esforços de manutenção ao longo do tempo, evitando sobrecarga, reduzindo o risco de falhas simultâneas e garantindo a continuidade dos serviços com impacto mínimo sobre a produção (Mobley, 2011; Parida & Kumar, 2006). O cronograma apresentado a seguir foi desenvolvido com base:

- Frequência ideal das manutenções previstas no plano técnico por equipamento
- Nível de criticidade dos ativos envolvidos

- Capacidade de execução da equipe da empresa analisada, conforme verificado durante a fase de levantamento de dados.

Essa proposta assume caráter orientativo, podendo ser ajustada conforme a empresa evolua em termos de organização, pessoal técnico ou disponibilidade de recursos. Onde o cronograma permite que a equipe de manutenção da empresa visualize de forma clara e objetiva as rotinas ao longo do tempo, podendo planejar a compra de peças, o agendamento de paradas programadas e a redistribuição da carga de trabalho com base nos períodos de menor demanda.

Além disso, essa estrutura favorece o desenvolvimento de um histórico técnico, à medida que as ações são executadas e documentadas, o que contribuirá para a futura digitalização da gestão de ativos e para a evolução do plano de manutenção para estágios mais avançados, como a manutenção preditiva com sensores, ou a integração com sistemas de monitoramento contínuo (Galar, et al., 2015; Paladini, 2012).

Figura 24 – Cronograma de manutenção estruturado por periodicidade

Periodicidade	Atividades-chave
Diária	- Limpeza de canaletas da politriz RPB 11s - Inspeção visual básica das máquinas
Semanal	- Verificação de alinhamento de trilhos (serras ponte) - Inspeção de desgaste em discos de corte
Quinzenal	- Lubrificação de eixos móveis - Verificação de acoplamentos e componentes móveis
Mensal	- Inspeção elétrica de painéis e sensores - Revisão de sistemas hidráulicos
Trimestral	- Substituição de sensores desgastados - Balanceamento de sistemas rotativos
Semestral	- Troca preventiva de correias - Ajustes finos em sistemas de fixação e apoio
Anual	- Revisão geral de componentes críticos - Substituições programadas - Treinamentos técnicos e operacionais

Fonte: Autor (2025)

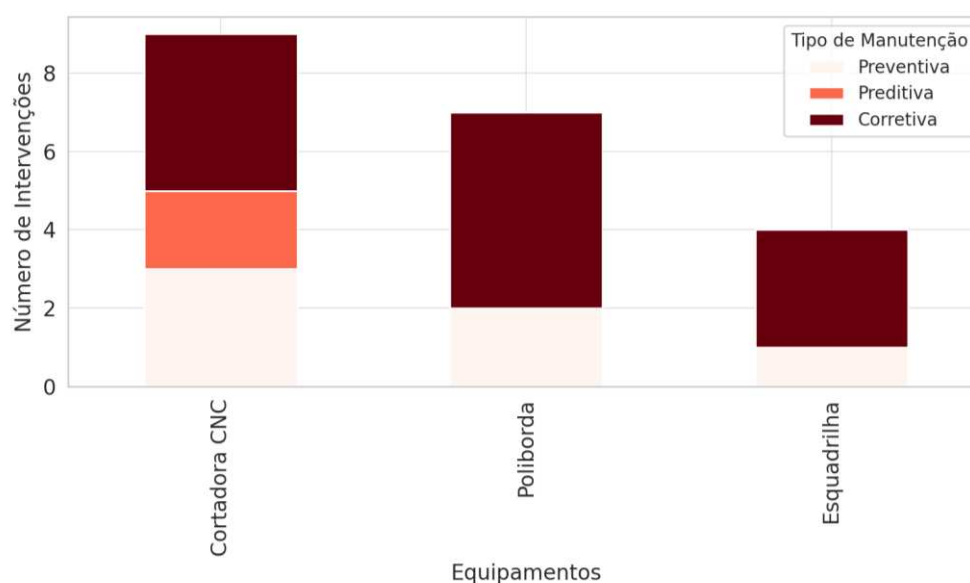
A seguir, temos as Figuras que sintetizam a periodicidade e tipo de manutenção planejada para cada equipamento crítico, além de apresentar a distribuição de tipos de manutenção por equipamento, evidenciando a ênfase nas ações preventivas.

Figura 25 – Tabela com a periodicidade de manutenção de cada equipamento

Equipamento	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Manutenção Corretiva
Cortadora CNC	Mensal	Trimestral	Conforme falha
Poliborda	Trimestral	-	Conforme falha
Esquadriha	Bimestral	-	Conforme falha

Fonte: Autor (2025)

Figura 26 – Tipo de manutenção planejada para cada equipamento



Fonte: Autor (2025)

4.13 Indicadores de Desempenho (KPIs) recomendados

A eficácia de qualquer plano de manutenção industrial não depende apenas da execução das atividades previstas, mas também da capacidade de monitoramento contínuo dos seus resultados. Para isso, é essencial estabelecer um conjunto de indicadores de desempenho

que permitam avaliar a performance dos ativos, a eficiência das intervenções e a evolução da maturidade da gestão da manutenção ao longo do tempo.

No caso da empresa de rochas ornamentais, que ainda não possui um sistema informatizado de gestão de manutenção, recomenda-se o início do controle por meio de planilhas simples, com inserção manual dos dados pelas equipes de operação e manutenção. Essa abordagem inicial é viável, econômica e pode ser implementada progressivamente, até que a empresa esteja pronta para adotar softwares mais robustos, como o *Engeman*®, *Manutenção.net* ou sistemas CMMS gratuitos como o *Infraspeak* (Moura, 2020). Abaixo estão os principais KPIs recomendados, com breve explicação e forma de cálculo:

1. MTBF – Tempo Médio Entre Falhas (Mean Time Between Failures)

- Objetivo: Mensurar a confiabilidade dos equipamentos, ou seja, o tempo médio em que uma máquina permanece operando sem apresentar falhas.

- Fórmula:

$$MTBF = \text{TEMPO TOTAL DE OPERAÇÃO} / \text{NÚMERO DE FALHAS REGISTRADAS}$$

- Aplicação: Ideal para equipamentos críticos com histórico de paradas frequentes.
- Referência: Mobley (2011); ISO 14224
- Aplicação: Ideal para equipamentos críticos com histórico de paradas frequentes.
- Referência: Mobley (2011); ISO 14224

2. MTTR – Tempo Médio para Reparo (Mean Time to Repair)

- Objetivo: Avaliar a eficiência das equipes de manutenção em restaurar a operação após uma falha.

- Fórmula:

$$MTTR = \text{TEMPO TOTAL DE REPAROS} / \text{NÚMERO DE FALHAS RESOLVIDAS}$$

- Aplicação: Permite identificar gargalos na manutenção corretiva.
- Referência: Kardec & Nascif (2009)

3. Taxa de Indisponibilidade dos Equipamentos

- Objetivo: Indicar o percentual de tempo em que o equipamento ficou fora de operação, impactando a produção.

- Fórmula:

$$INDISPONIBILIDADE = (TEMP. DE INATIVIDADE / TEMP. TOT. PREVISTO) \times 100$$

- Aplicação: Essencial para priorizar ações em ativos de alta criticidade.
- Referência: Parida & Kumar (2006)

4. Percentual de Manutenções Preventivas x Corretivas

- Objetivo: Monitorar o grau de proatividade da manutenção, comparando as intervenções programadas com as emergenciais.
- Fórmula:

$$PREVENT. VS CORRET. = (N^{\circ} DE MANUT. PREV. / TOTAL DE MANUT.) \times 100$$

- Aplicação: Reflete a maturidade da gestão de manutenção.
- Referência: Paladini (2012)

5. Custo de Manutenção por Máquina por Mês

- Objetivo: Controlar o investimento mensal em manutenção por equipamento, facilitando decisões orçamentárias.
- Fórmula:

$$CUSTO MENSAL = CUSTO TOTAL DE MANUT. / N^{\circ} DE EQUIPAMENTOS$$

- Aplicação: Apoiar a análise de custo-benefício e o planejamento financeiro.
- Referência: Bevilacqua, et al. (2009)

Esses KPIs fornecem um panorama abrangente do desempenho da manutenção, permitindo que a empresa detecte tendências, antecipe problemas e melhore continuamente suas práticas operacionais. À medida que os dados forem sendo coletados, será possível gerar relatórios periódicos que subsidiem reuniões de acompanhamento, tomadas de decisão e revisões futuras do plano de manutenção.

4.14 Considerações Finais

O plano de manutenção desenvolvido neste trabalho constitui uma proposta estruturada, prática e ajustada à realidade operacional da empresa, com base nos princípios da

Manutenção Baseada em Risco (RBM). Sua elaboração partiu da análise dos equipamentos críticos da planta, utilizando uma abordagem que considerou dados qualitativos e empíricos, combinados a critérios objetivos de avaliação de risco, viabilizando a construção de um plano tecnicamente sólido que é aplicável mesmo em ambientes com baixa informatização.

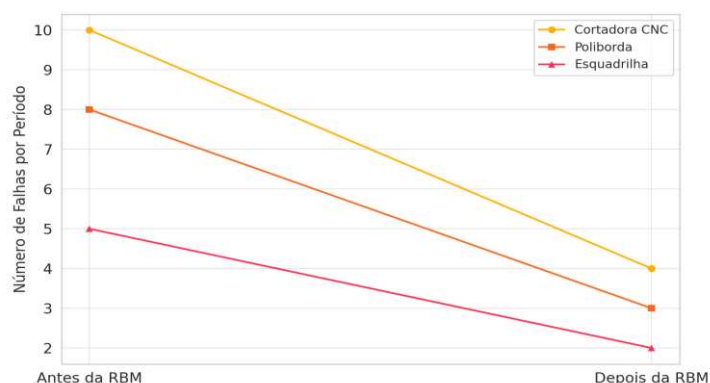
As ações propostas foram organizadas de maneira clara, com foco em manutenções preventivas, preditivas e programadas, respeitando as limitações técnicas, financeiras e operacionais da organização, mas sem abrir mão de boas práticas de engenharia da confiabilidade (Mobley, 2011; Parida & Kumar, 2006). A inserção de treinamentos periódicos e ações educacionais também reforça o compromisso com o desenvolvimento da equipe técnica, promovendo uma cultura de manutenção mais consciente e participativa.

A implantação desse plano, aliada ao uso progressivo de indicadores de desempenho (KPIs), como MTBF, MTTR, taxa de indisponibilidade e custo por máquina, deverá promover ganhos significativos em confiabilidade, disponibilidade e controle operacional, além de reduzir o número de falhas não planejadas e otimizar o uso de recursos produtivos. Conforme destacam Paladini (2012) e Galar, et al. (2015), o monitoramento contínuo e a análise dos dados de manutenção são fatores-chave para o amadurecimento da gestão e a sustentabilidade das melhorias implantadas.

A etapa futura recomendada para a empresa é a institucionalização do plano de manutenção, com a formalização de rotinas, designação de responsáveis fixos, e capacitação contínua da equipe. Paralelamente, é desejável o início da digitalização dos registros de manutenção, por meio de planilhas ou softwares gratuitos (como Manutenção.net ou CMMS open-source), criando um histórico técnico que permitirá revisões futuras mais precisas e embasadas.

Além disso, com o avanço da maturidade organizacional, a empresa poderá considerar, em médio prazo, a adoção de tecnologias de manutenção preditiva, como sensores de vibração, temperatura e consumo energético, integrados a plataformas de monitoramento remoto. Tais recursos, ainda que não essenciais para o estágio atual, representam o futuro da manutenção inteligente e podem ser integrados gradualmente conforme os recursos e a capacitação da equipe evoluírem (Galar, et al., 2017).

Figura 27 – Gráfico com a redução projetada de falhas após a RBM



Fonte: Autor (2025)

A Figura acima apresenta o gráfico de redução projetada de falhas após a aplicação da Manutenção Baseada em Risco (RBM) apresenta uma comparação entre o cenário atual, caracterizado pela predominância de manutenções corretivas e paradas não programadas, e o cenário projetado após a implementação do plano proposto. Sua elaboração baseou-se no levantamento das falhas mais recorrentes, obtido por meio de entrevistas, observações operacionais e análise de registros disponíveis, bem como na classificação dos modos de falha por meio da matriz de criticidade, que orientou a definição de ações de manutenção preventiva, corretiva programada e preditiva para os equipamentos mais críticos. A redução indicada no gráfico corresponde a uma projeção técnica fundamentada na mitigação dos principais modos de falha e na expectativa de melhoria dos indicadores de desempenho, como MTBF, MTTR e disponibilidade, evidenciando o potencial da RBM em aumentar a confiabilidade dos equipamentos e a previsibilidade do processo produtivo.

Portanto, este plano não apenas atende às necessidades atuais da empresa, como cria as bases para o crescimento sustentável da gestão de ativos, alinhando tecnologia, conhecimento técnico e estratégia operacional em prol da melhoria contínua dos resultados industriais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações Finais

A gestão da manutenção industrial representa um dos pilares fundamentais para a sustentabilidade de sistemas produtivos, especialmente em setores intensivos em equipamentos, como é o caso da indústria de beneficiamento de mármore e granitos. Neste contexto, o presente trabalho propôs-se a desenvolver e aplicar um plano de manutenção estruturado com base na metodologia de Manutenção Baseada em Risco (RBM) na empresa situada no interior do estado do Ceará.

A pesquisa foi conduzida a partir de uma abordagem aplicada, integrando conhecimentos teóricos e práticos com a realidade operacional da empresa estudada. A escolha da RBM como metodologia central se mostrou acertada, diante das limitações observadas em relação à formalização de dados históricos de manutenção e à inexistência de um sistema informatizado de controle de ativos. Por outro lado, a experiência acumulada dos operadores e o conhecimento tácito da equipe técnica proporcionaram uma base sólida para a aplicação qualitativa da análise de risco.

A aplicação da RBM permitiu a identificação dos equipamentos mais críticos da planta, com base em critérios definidos para avaliação de probabilidade de falha, impacto na produção e impacto na segurança ou no custo operacional. Essa triagem foi decisiva para a formulação de um plano de manutenção tecnicamente consistente, direcionando os recursos e esforços para os ativos com maior influência sobre a eficiência e a confiabilidade do processo produtivo.

Com base nos resultados obtidos, foi possível estruturar um plano abrangente de manutenção que contempla ações preventivas, corretivas, preditivas e programadas, alinhadas às características e necessidades específicas de cada equipamento. O plano propõe, de forma sistematizada, a descrição das atividades de manutenção, sua frequência de realização, os profissionais responsáveis e os recursos necessários. Adicionalmente, foi proposto um conjunto de indicadores de desempenho (KPIs) que permitirão, futuramente, o monitoramento da eficácia das ações implementadas.

Cabe destacar que, além da contribuição prática direta para a melhoria do desempenho da empresa, o presente estudo também colabora para o fortalecimento da cultura

organizacional voltada à confiabilidade operacional. A implementação das propostas aqui apresentadas tende a reduzir o número de paradas não planejadas, minimizar os custos relacionados à manutenção emergencial, aumentar a disponibilidade técnica dos equipamentos e, em última instância, melhorar a competitividade da empresa no mercado.

Outro ponto de destaque é o caráter replicável da metodologia aplicada. Empresas de pequeno e médio porte, que compartilham de limitações similares, podem utilizar a RBM como alternativa viável para iniciar um processo estruturado de gestão da manutenção, mesmo em ambientes com baixa maturidade organizacional. A simplicidade conceitual, aliada à efetividade prática da metodologia, torna a RBM uma ferramenta estratégica especialmente indicada para contextos industriais com restrição de recursos técnicos e financeiros.

Diante do exposto, conclui-se que os objetivos traçados para este trabalho foram plenamente alcançados. A partir da análise dos ativos da empresa, foi possível não apenas propor um plano de manutenção realista e executável, mas também indicar caminhos para a evolução contínua da gestão da manutenção, apoiando decisões futuras com base técnica e racional.

5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros e Aplicações Práticas

Com base nos aprendizados e resultados obtidos ao longo deste estudo, são apresentadas recomendações voltadas à continuidade, consolidação e aprimoramento da gestão da manutenção na empresa analisada, bem como à ampliação do conhecimento acadêmico sobre a aplicação da Manutenção Baseada em Risco (RBM) no setor de rochas ornamentais.

No âmbito prático, recomenda-se a implementação gradual do plano de manutenção proposto, acompanhada do monitoramento sistemático dos indicadores de desempenho definidos, como MTBF, MTTR e índice de disponibilidade técnica, de modo a possibilitar ajustes contínuos e a validação dos ganhos operacionais esperados. Sugere-se também a adoção de registros históricos mais estruturados de falhas e intervenções, o que permitirá análises mais precisas e tomadas de decisão baseadas em dados ao longo do tempo.

Quanto aos trabalhos futuros, indica-se a realização de estudos que avaliem quantitativamente os impactos da RBM após sua implementação efetiva, considerando indicadores econômicos, como custos de manutenção e produtividade, bem como a comparação entre diferentes estratégias de manutenção aplicadas a empresas de portes e realidades distintas. Além disso, a incorporação de técnicas preditivas mais avançadas e o uso de sistemas

informatizados de gestão da manutenção (CMMS) representam oportunidades relevantes para aprofundar e expandir os resultados obtidos neste trabalho.

Com isso temos algumas recordações para a empresa:

- **Formalização e institucionalização do plano de manutenção:** Recomenda-se que o plano de manutenção proposto neste trabalho seja oficialmente integrado à rotina operacional da empresa, com definição clara de responsabilidades e cronogramas de execução.
- **Capacitação contínua da equipe:** A realização periódica de treinamentos técnicos e comportamentais pode aumentar significativamente a eficiência da equipe de manutenção, além de fomentar a cultura da manutenção proativa e segura.
- **Digitalização dos registros:** Ainda que por meio de soluções simples como planilhas em Excel ou softwares gratuitos de CMMS, é essencial iniciar a construção de um banco de dados histórico de falhas, manutenções realizadas e consumo de peças, que permitirá a evolução futura para metodologias mais robustas como MCC ou TPM.
- **Monitoramento por indicadores:** A aplicação prática de KPIs como MTBF, MTTR e taxa de disponibilidade contribuirá para o controle da performance da manutenção e facilitará análises gerenciais e decisões estratégicas.
- **Adoção gradual de tecnologias preditivas:** A médio prazo, a empresa pode avaliar a viabilidade da instalação de sensores para monitoramento de vibração, temperatura ou desgaste, possibilitando intervenções preditivas mais eficazes.

5.3 Recomendações para Estudos Acadêmicos Futuros:

- **Ampliação da amostra:** Recomenda-se a replicação da metodologia RBM em empresas de segmentos industriais distintos, permitindo a ampliação da base comparativa e a validação da flexibilidade da abordagem.
- **Integração com indicadores financeiros:** Estudos futuros podem explorar a relação entre os investimentos em manutenção planejada e os resultados econômicos obtidos (ROI da manutenção).
- **Avaliação longitudinal:** Sugere-se a realização de estudos de acompanhamento ao longo de períodos superiores a 12 meses, com o objetivo de verificar os impactos de longo prazo da aplicação da RBM sobre os resultados operacionais da empresa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. S. **Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade para melhoria do transporte público escolar**: estudo de caso em uma instituição de ensino superior. 2021. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, Russas, 2021.
- AMARAL, F. T.; LOPES, C. R.; FERREIRA, J. L. Aplicação do AHP para priorização de ativos em um plano de manutenção. **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 2, p. 45–60, 2020.
- API. **API Recommended Practice 580: Risk-Based Inspection**. 3. ed. Washington: American Petroleum Institute, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14224**: Coleta e troca de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31010**: Gestão de riscos: técnicas para o processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55000**: Gestão de ativos: visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- BATISTA, L. F.; NASCIMENTO, M. A. L.; SANTOS, A. P. Manutenção como estratégia competitiva em pequenas e médias empresas. **Revista Interfaces da Gestão**, v. 6, n. 1, p. 45–58, 2019.
- BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; GIACCHETTI, A. **Development of a maintenance model based on FMEA and RBM**. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 94, n. 1, p. 49–59, 2009.
- CARVALHO, F. A.; SILVEIRA, M. C. Aplicação da metodologia FMEA em ambiente hospitalar: uma proposta de manutenção preventiva. **Revista Saúde e Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 33–42, 2020.
- COETZEE, J. L. **A holistic approach to the maintenance problem**. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 5, n. 3, p. 276–280, 1999.
- CRUZ, R. L.; SANTOS, D. G.; MONTEIRO, V. C. Manutenção baseada em risco em usinas termoeletricas: um estudo de caso. **Revista de Engenharia Aplicada**, v. 11, n. 2, p. 78–94, 2022.
- FERNANDES, H.; TEIXEIRA, C. Estratégias de manutenção em PMEs: viabilidade da RBM. **Revista Gestão & Produção**, v. 30, n. 2, 2023.
- GALÁR, D., et al. **Maintenance Decision Support Models for Production Systems**. Cham: Springer, 2017.

- GALÁR, D.; KUANG, K.; TING, Y.; MCGUINNESS, I. **Maintenance decision making based on IoT**. In: Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. 2015. p. 205–214.
- GARCÍA ARCA, J.; PRADO, J. C. **Aplicación de estrategias de mantenimiento en PYMES manufactureras**. Dirección y Organización, n. 35, p. 54–62, 2008.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 2, p. 57–63, 1995.
- GONÇALVES, P. A.; MENDONÇA, L. R. Gestão da manutenção em pequenas empresas: estudo de caso em uma moveleira. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 17, n. 4, p. 99–113, 2017.
- KHAN, K. M.; KHAN, K. **Types of software evolution and software maintenance**. Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice, v. 13, n. 1, 2021.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Engenharia da manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KUMAR, V.; BARUA, A. **Risk-based maintenance strategy: a case study**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 27, n. 4, 2021.
- LI, Q., et al. **Predictive maintenance using AI: impact in manufacturing**. Procedia Manufacturing, v. 51, p. 35–42, 2020.
- LINS, J. E. V.; OLIVEIRA, M. S. R. Diagnóstico e plano de manutenção em micro e pequenas empresas industriais. **Revista Gestão Industrial**, v. 12, n. 4, p. 78–93, 2016.
- MELO, M. R. de. **Engenharia da confiabilidade e manutenção**. São Paulo: Blucher, 2010.
- MOBLEY, R. K. **Maintenance Fundamentals**. 3. ed. Burlington: Elsevier, 2011.
- MOBLEY, R. K. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2021.
- MOREIRA, L. C. **Elaboração de plano de manutenção baseado em risco em uma indústria têxtil. 2021**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.
- MOURA, M. R. Panorama de ferramentas de CMMS e EAM no Brasil. **Revista Manutenção**, 2020.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation**. New York: Oxford University Press, 1997.

OLIVEIRA, J. S.; LIMA, R. F.; TORRES, M. A. Gestão da manutenção baseada em dados em uma indústria de bebidas. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 7, n. 1, p. 14–27, 2021.

PALADINI, E. P. **Qualidade total na prática**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

PARIDA, A.; KUMAR, U. **Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges**. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 12, n. 3, p. 239–251, 2006.

PEREIRA, C. E.; SOUSA, R. J. **Gestão da manutenção: uma abordagem prática**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

RODA, I.; MACCHI, M.; FUMAGALLI, L. **A risk-based methodology for the maintenance planning of industrial plants**. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 20, n. 1, p. 38–55, 2014.

RODRIGUES, R. H.; VIEIRA, R. B. Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em cooperativas agroindustriais. **Revista Engenharia e Gestão**, v. 13, n. 2, p. 52–67, 2018.

SHARMA, S.; YADAVA, G. **Digital maintenance and performance: Industry 4.0 impacts**. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 17, n. 12, 2021.

SILVA, A. F.; MARTINS, D. R.; OLIVEIRA, A. R. Aplicação da metodologia RBM em uma indústria de alimentos. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 2, p. 88–101, 2019.

SILVA, L. F.; CAMPOS, A. M. M. **Manutenção industrial: gestão e planejamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SILVA, M. F.; LIMA, L. A. Diagnóstico da maturidade em gestão de manutenção em pequenas indústrias. **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 2, p. 88–103, 2020.

SILVA, M. F., et al. Aplicação da RBM em ambientes industriais com baixa maturidade de dados. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 1, 2022.

SMITH, R.; MOBLEY, K. R. **Engenharia de manutenção em equipamentos**. São Paulo: Elsevier, 2011.

SOUZA, J. A. **Fundamentos de gestão da manutenção**. São Paulo: Atlas, 2008.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. 2. ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2003.

XENOS, S. M. **Manutenção: função estratégica**. São Paulo: Atlas, 1998.

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

ANEXO A – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO SERRA PONTE AUTOMÁTICA – CNC (AÇO ART)

4.1.1.1 Serra Ponte Automática (Aço Art) - CNC

- **Função no processo:** Corte automático de chapas de maior espessura e precisão
- **Tipo de operação:** Contínua
- **Criticidade:** Alta
- **Principal impacto da falha:** Parada da produção, cortes inacabados, custos de retrabalho elevados

Principais Modos de Falha Identificados:

- Desalinhamento e desgaste do disco de corte
- Problemas na lubrificação de guias e fusos
- Falhas nos motores e drivers CNC
- Problemas elétricos no painel de controle

Plano de Manutenção Proposto:

Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Inspeção visual e limpeza dos guias e fusos	Semanal	Operador	Chave de fenda, pincel, graxa
Preditiva	Verificação dos níveis de óleo dos fusos e reposição se necessário	Mensal	Técnico de Manutenção	Óleo específico, recipiente, chave de fenda
Preditiva	Troca de óleo dos fusos	Trimestral	Técnico de Manutenção	Óleo específico, recipiente, chave de fenda
Preditiva	Mónitoramento de vibração e temperatura dos motores		Mensal	Sensor de vibração, termómetro digital
Corretiva Programada	Diagnóstico/teste eletrónico do painel CNC		Mensal	Multímetro, laptop com software de diagnóstico
Prelixo	Alinhamento e substituição do disco de corte		Conforme desgaste	Disco de corte de reposição, chave apropriada
Corretiva Programada	Calibração dos motores e drivers CNC Reparos elétricos no painel de controle, conforme diagnóstico		Semestral Conforme necessidade	Ferramentas de calibração, software CNC

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Serra:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Serra Ponte está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

ANEXO B – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO POLITRIZ DE BORDA AUTOMÁTICA RPB 11S (AÇO ART)

4.1.1.2 Politriz de Borda Automática RPB 11s (Aço Art)

- **Função no processo:** Acabamento e polimento automático de chapas de angulares
- **Tipo de operação:** Contínua
- **Criticidade:** Alta
- **Principal impacto da falha:** Parada de linha, retrabalho e perda de acabamento

Principais Modos de Falha Identificados:

- Desgaste excessivo dos rebolos e ferramentas
- Falhas em rolamentos e eixos
- Contaminação por lama abrasiva
- Problemas em motores elétricos

Plano de Manutenção Proposto:

Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Inspeção visual e limpeza geral	Diária	Operador	EPis, água
Preditiva	Verificação das fixações dos rebolos	Semanal	Técnico de Manutenção	Chave, ferramentas, Chave, ferramentas
Preditiva	Diagnóstico e teste eletrônico CNC	Quinzenal	Técnico de Manutenção	Checklist, Fluido epa, óleo, diluente, rolamentos
Preditiva	Monitoramento de vibração/temperatura	Mensal	Técnico de Manutenção	Sensor de vibração, termómetro digital
Corretiva Programada	Substituição de ferramentas de corte conforme desgaste		Conforme necessidade	Rolamentos originais, Rebolos originais, e ferramentas
Corretiva Programada	Alinhamento e calibração dos movimentos de fusos e guias		Conforme necessidade	Sensores e interruptores de reposição

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Serra:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTRR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Politriz está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Politriz:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTRR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Politriz está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

ANEXO C – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO SERRA PONTE SPR 450 – CNC (AÇO ART)

4.1.1.3 Serra Ponte SPR 450 (Aço Art) – CNC

- **Função no processo:** Corte automático de chapas para cortes brutos e angulares
- **Tipo de operação:** Contínua
- **Criticidade:** Média-Alta
- **Principal impacto da falha:** Atraso na produção, imprecisão nos cortes, maior desgaste de ferramentas e retrabalho

Principais Modos de Falha Identificados:

- Desgaste excessivo dos rebolos e ferramentas
- Falhas em rolamentos e eixos
- Contaminação por lama abrasiva
- Problemas em motores elétricos

Plano de Manutenção Proposto:

Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Inspeção visual e limpeza geral	Diária	Operador	EPis, água
Preditiva	Verificação do tensionamento da serra	Mensal	Técnico de Manutenção	Chave, ferramentas
Preditiva	Monitoramento da pressão e condição hidráulica	Bimensal	Técnico de Manutenção	Manômetro hidráulico, lanterna, chave
Prelixo	Teste preditivo do motor e painel	Mensal	Técnico de Manutenção	Multímetro e checklist elétrico
Corretiva Programada	Substituição e alinhamento do disco de corte		Conforme desgaste	Disco de corte, chaves
Corretiva Programada	Carregamento hidráulico conforme necessidade		Conforme necessidade	Fluido/hastes, mangueiras, ferramentas

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Serra:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Serra Ponte está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Serra:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Serra Ponte está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

ANEXO D – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO POLITRIZ DE BORDA INTERNA RPI08 (AÇO ART)

4.1.1.4 Politriz de Borda Interna RPI08 (Aço Art)				
<ul style="list-style-type: none"> Função no processo: Polimento automatizado de bordas internas de chapas Tipo de operação: Contínua Criticidade: Média-Alta Principal impacto da falha: Parada de linha, perda de qualidade no polimento interno 				
Principais Modos de Falha Identificados:				
<ul style="list-style-type: none"> Desgaste excessivo dos rebolos e ferramentas Falhas em rolamentos e eixos Contaminação do sistema por sedimentos Problemas em motores ou redutores 				
Plano de Manutenção Proposto:				
Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Inspeção visual e limpeza do disco e mesa	Diária	Operador	EPIs, escova
Preditiva	Verificação dos ferramentas da serra	Mensal	Técnico de Manutenção	Chave, ferramentas
Preditiva	Monitoramento da pressão//rdido	Bimensal	Técnico de Manutenção	Graxa e óleo apropriado
Prelixo	Substituição e alinhamento conforme desgaste	Conforme desgaste	Técnico de Manutenção	Rolamentos originais, extrator e prensa
Corretiva Programada	Carregamento hidráulico conforme desgaste		Técnico de Manutenção	Fluido/hastes, mangueiras, Peçessitoncas, ferramentas expredicav.
Corretiva Programada	Limpeza e desassoreamento do sistema interno		Semestral	Equipamento de aspiração, raspa, escovãs
Indicadores de Desempenho Associados:				
<ul style="list-style-type: none"> MTBF da Serra: Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento MTTR Médio: Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção Índice de Disponibilidade Técnica: Percentual de tempo que a Politriz de Borda Interna está disponível para operação, demonstrando á eficácia do plano de manutenção 				
Indicadores de Desempenho Associados:				
<ul style="list-style-type: none"> MTBF da Politriz: Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento MTTR Médio: Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção Índice de Disponibilidade Técnica: Percentual de tempo que a Politriz de Borda Interna está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção 				

Fonte: Autor (2025)

ANEXO E – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO CORTADEIRA LONGITUDINAL MEIA ESQUADRIA RR350/45° (AÇO ART)

4.1.1.5 Cortadeira Longitudinal Meia Esquadria RR350/45°(Aço Art)

<ul style="list-style-type: none"> • Função no processo: Corte longitudinal de chapas em meia-esquadria a 45° • Tipo de operação: Contínua • Criticidade: Média-Alta • Principal impacto da falha: Impossibilidade de cortes precisos, necessidade de retrabalho e desperdício de material 				
Principais Modos de Falha Identificados:				
<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste excessivo das lâmina de corte • Falhas em rolamentos e eixos • Contaminação do sistema por sedimentos abrasivos • Problemas em motores ou redutores 				
Plano de Manutenção Proposto:				
Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Limpeza e inspeção visual da lâmina e guia de corte	Quinzenal	Operador	EPis, chave ajustavel
Preditiva	Lubrificação das guias	Mensal	Técnico de Manutenção	Óleo ou graxa, engraxadeira
Preditiva	Verificação e ajuste de alinhamento do sistema de corte 45°	Semestral	Técnico de Manutenção	Ferramentas de ajuste, medidor de nível
Prelixo	Diagnóstico/teste elétrico do painel	Conforme desgaste	Técnico de Manutenção	Multímetro, laptop com software de diagnóstico
Corretiva Programada	Substituição da lâmina de corte conforme desgaste		Técnico de Manutenção	Lâmina de corte de reposição, chave apropriada
Corretiva Programada	Ajuste fino do sistema de corte 45° conforme necessidade		Semestral	Equipamento de aspiração, raspa, escovas

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF do Cortadeira Longitudinal:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Cortadeira Longitudinal está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF do Cortadeira Longitudinal:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Cortadeira Longitudinal está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

Fonte: Autor (2025)

ANEXO F – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO CORTADEIRA LONGITUDINAL FIXA RR 350 45° (AÇO ART)

4.11.6 Cortadeira Longitudinal Fixa RR 350 45° (Aço Art)

- **Função no processo:** Corte longitudinal fixo de chapas em meia-esquadria a 45°
- **Tipo de operação:** Contínua
- **Criticidade:** Média
- **Principal impacto da falha:** Impossibilidade de cortes precisos, desperdício de material

Principais Modos de Falha Identificados:

- Desgaste excessivo da lâmina de corte
- Problemas no alinhamento ou fixação da lâmina a 45°
- Falta de lubrificação das guias dos rolamentos
- Problemas elétricos no painel de controle

Plano de Manutenção Proposto:

Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Limpeza e inspeção visual da lâmina	Quinzenal	Operador	EPis, chave ajustável
Preditiva	Lubrificação dos guias	Semestral	Técnico de Manutenção	Óleo ou graxa, engraxadeira
Preditiva	Lubrificação dos rolamentos	Bimensal	Técnico de Manutenção	Óleo ou graxa, engraxadeira
Preditiva	Diagnóstico/teste elétrico do painel de controle	Trimestral	Técnico de Manutenção	Sensor de vibração e lanterna
Corretiva Programada	Substituição da lâmina de corte conforme desgaste	Conforme desgaste	Técnico de Manutenção	Lâmina de corte, chave específica
Corretiva Programada	Ajuste e fixação da lâmina a 45°		Técnico de Manutenção	Lâmina de corte, chave específica

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Cortadeira Longitudinal:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Cortadeira Longitudinal está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

Indicadores de Desempenho Associados:

- **MTBF da Cortadeira Longitudinal:** Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento
- **MTTR Médio:** Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção
- **Índice de Disponibilidade Técnica:** Percentual de tempo que a Cortadeira Longitudinal está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção

ANEXO G – LAYOUT DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO SERRA DE CORTE MANUAL (RDS SAMEC)

4.1.1.7 Serra de Corte Manual (RDS Samec)				
<ul style="list-style-type: none"> • Função no processo: Corte manual de chapas e peças com lâmina diamantada • Tipo de operação: Intermitente • Criticidade: Média-Baixa • Principal impacto da falha: Retrabalho, imprecisão nos cortes e potencial risco de acidentes 				
Principais Modos de Falha Identificados:				
<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste e quebra da lâmina de corte • Problemas elétricos no motor e painel • Falhas nos interruptores de segurança • Deficiência na fixação do disco e no protetor de segurança 				
Plano de Manutenção Proposto:				
Tipo de Manutenção	Atividade	Periodicidade	Responsável	Recursos Necessários
Preventiva	Inspeção visual de fixações e fundonamento dos interruptores de segurança	Semanal	Operador	EPI, chave de fixação
Preditiva	Limpeza e inspeção visual da lâmina	Quinzenal	Operador	Chave de fixação, escova, EPI
Preditiva	Monitoramento da corrente elétrica do motor	Mensal	Técnico de Manutenção	Alicate amperímetro
Corretiva Programada	Chechagem/teste das proteções elétricas e segurança	Bimensal	Técnico de Manutenção	Multímetro
Corretiva Programada	Substituição da lâmina de corte conforme desgaste ou quebra	Conforme necessidade	Técnico de Manutenção	Lâmina de corte de reposição, chave de fixação específica
Indicadores de Desempenho Associados:				
<ul style="list-style-type: none"> • MTBF da Serra Manual: Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento • MTTR Médio: Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção • Índice de Disponibilidade Técnica: Percentual de tempo que a Serra Manual está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção 				
Indicadores de Desempenho Associados:				
<ul style="list-style-type: none"> • MTBF da Serra Manual: Média de tempo entre falhas, indicando confiabilidade do equipamento • MTTR Médio: Tempo médio de reparo das falhas, refletindo eficiência da manutenção • Índice de Disponibilidade Técnica: Percentual de tempo que a Serra Manual está disponível para operação, demonstrando a eficácia do plano de manutenção 				

Fonte: Autor (2025)