

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

MATHEUS MIRON SCALABRIN

RICARDO FELIPE HERBERTS

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA CONTRATAÇÃO DE UM SERVIÇO  
DE MONITORAMENTO PREDITIVO EM UMA FÁBRICA DE RAÇÕES

Xanxerê

2025

MATHEUS MIRON SCALABRIN  
RICARDO FELIPE HERBERTS

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA CONTRATAÇÃO DE UM SERVIÇO  
DE MONITORAMENTO PREDITIVO EM UMA FÁBRICA DE RAÇÕES

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Câmpus Xanxerê do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. Rogério Lima Mota De Oliveira.

Xanxerê  
2025

S281a Scalabrin, Matheus Miron.  
Análise da viabilidade econômica da contratação de um serviço de monitoramento preditivo em uma fábrica de rações / Matheus Miron Scalabrin e Ricardo Felipe Herberts. — Xanxerê, 2025.  
35 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. Graduação em Engenharia Mecânica.  
Orientação: Rogério Lima Mota De Oliveira.  
Inclui referências.

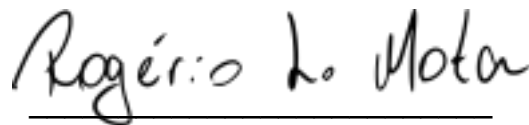
1. Manutenção preditiva. 2. Sensor de vibração. 3. Sensor com Inteligência Artificial Integrada. 4. Sensor de Temperatura. 4. Viabilidade econômica.  
I. Herberts, Ricardo Felipe. II. Oliveira, Rogério Lima Mota de. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. IV. Título.

MATHEUS MIRON SCALABRIN  
RICARDO FELIPE HERBERTS

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA CONTRATAÇÃO DE UM SERVIÇO  
DE MONITORAMENTO PREDITIVO EM UMA FÁBRICA DE RAÇÕES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenheiro Mecânico pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Xanxerê, 04 de dezembro de 2025.



Prof. Rogério Lima Mota de Oliveira, Dr  
Orientador

Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Santa Catarina - Campus  
Xanxerê

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo o estudo da viabilidade da contratação de um serviço de monitoramento com aluguel de sensores de vibração e temperatura com inteligência artificial integrada em uma fábrica de rações, com foco na melhoria da disponibilidade e desempenho dos equipamentos. O uso dessas tecnologias permite o monitoramento contínuo dos parâmetros críticos das máquinas, possibilitando a detecção precoce de falhas e a implementação de estratégias de manutenção preditiva. A importância desse estudo reside no aumento da eficiência operacional, redução de custos com manutenção corretiva e melhoria da confiabilidade dos ativos industriais. A pesquisa abordará a análise técnica e financeira necessária para a adoção dos sensores, destacando os benefícios econômicos e operacionais que podem ser alcançados com sua implementação, além das principais considerações para garantir o sucesso na integração desses dispositivos ao ambiente industrial.

**Palavras-Chave:** manutenção preditiva; sensor de vibração; sensor com inteligência artificial integrada; sensor de temperatura; viabilidade econômica.

## **ABSTRACT**

This final course project aims to study the feasibility of contracting a monitoring service involving the rental of vibration and temperature sensors with embedded artificial intelligence in an animal feed factory, focusing on improving equipment availability and performance. The use of these technologies allows for the continuous monitoring of critical machine parameters, enabling the early detection of faults and the implementation of predictive maintenance strategies. The importance of this study lies in increasing operational efficiency, reducing corrective maintenance costs, and improving industrial asset reliability. The research addresses the technical and financial analysis necessary for the adoption of these sensors, highlighting the economic and operational benefits that can be achieved through their implementation, as well as the main considerations to ensure success in integrating these devices into the industrial environment.

**Keywords:** predictive maintenance; vibration sensor; sensor with embedded artificial intelligence; temperature sensor; economic feasibility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Lista de equipamentos monitorados por sensores Tractian.....	13
Figura 02 - Fluxograma dos dados de estudo.....	19
Figura 03 - Fábrica de Suínos.....	21
Figura 04 - Fábrica de Aves.....	23
Figura 05 - Gráfico custo de manutenção.....	26
Figura 06 - Volume de ração produzida.....	31
Figura 07 - Comparativo do volume de ração 2024 - 2025.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tempo para retorno do investimento em monitoramento preditivo.....	18
Tabela 02 - Custos de manutenção.....	25
Tabela 03 - Quebra de equipamentos.....	27
Tabela 04 - Volume de ração não produzida.....	29

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Revisão de Literatura.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Metodologia de Avaliação.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Fluxograma.....</b>	<b>19</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Arranjo físico das Máquinas da Fábrica.....</b>	<b>21</b>
3.1.1 Fábrica de suínos.....	21
3.1.2 Fábrica de aves.....	22
<b>3.2 Avaliação.....</b>	<b>23</b>
3.3.2 Dados do estudo.....	25
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Discussão dos resultados de manutenção.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Impacto econômico na produção.....</b>	<b>35</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho tem o intuito de analisar a viabilidade econômica da aquisição de um serviço de monitoramento das condições das máquinas de uma fábrica de rações do oeste de Santa Catarina, a qual não possuía nem um tipo de monitoramento das máquinas a não ser as próprias inspeções periódicas realizadas pela equipe de manutenção interna da mesma, a qual não se mostrava capaz de atender toda a demanda pelo tamanho de sua equipe frente ao número de máquinas e equipamentos presentes na empresa.

Devido a isso, a empresa decidiu recentemente fazer a contratação de uma empresa que presta um serviço de monitoramento preditivo através de dispositivos que medem a temperatura e vibração das máquinas com inteligência artificial integrada. O serviço prestado por essa empresa de monitoramento consiste no aluguel de seus dispositivos de monitoramento através de contratos de mensalidades, além do aplicativo que realiza a leitura e interpretação dos dados e informa a equipe de manutenção em tempo real das condições das máquinas.

Após a aquisição desse serviço a equipe de manutenção da empresa notou uma melhoria na previsibilidade das falhas em seus equipamentos, além de uma melhora no tempo de resposta da equipe. Porém a mesma ainda vê como necessário que haja uma análise da viabilidade econômica real gerada pela aquisição do serviço.

O motivo se deve, pois como explicado pela Tractian (2025), com a constante evolução da indústria, algo que vem se destacando é a necessidade de melhorias operacionais. Seja para cortar custos ou melhorar processos, com isso uma área que vem sendo peça chave nessa evolução é a manutenção que tem que constantemente se reinventar para garantir que as máquinas passem o máximo de tempo produzindo e evitem o máximo as paradas para manutenções.

Isso se deve, pois desde o início da concepção das grandes indústrias a manutenção sofreu várias mudanças/evoluções na sua forma de atuação. Onde no início seu foco era na manutenção corretiva que consiste em consertar as máquinas quando elas quebravam, o que acarretava em muita imprevisibilidade e altos custos de manutenção, levando ao desenvolvimento da manutenção preventiva, que visava

analisar a vida útil dos componentes e substituí-los antes que gerassem falhas ou panes nos equipamentos, isso reduziu a imprevisibilidade e os custos de manutenção das máquinas, mas ainda havia peças que quebravam dentro da vida útil estipulada e para resolver esse problema, foi desenvolvido a manutenção preditiva.

A qual consiste em analisar os defeitos nas máquinas, como aumentos de temperatura e vibração, para poder detectar possíveis peças que podem quebrar previamente, porém isso demandava verificações periódicas e poderia acontecer uma quebra entre as verificações. Então uma evolução dentro da mesma, consistiu em colocar sensores nas máquinas, para fazer essa análise de vibração e temperatura em tempo real e mandar as informações para a manutenção, já com as possíveis causas do aumento dessas variáveis como a falta de lubrificação nos rolamentos, o desalinhamento do motor, folgas estruturais, entre outros.

Assim sendo possível direcionar a manutenção para os defeitos e possíveis falhas nas máquinas antes que os mesmos gerem uma pane, que seria a incapacidade do equipamento de realizar sua função. Assim, pode-se programar com as equipes de produção e gerenciamento da fábrica, para realizar uma intervenção na máquina de maneira rápida e eficiente, gerando baixos custos.

Já que pode-se programar a manutenção num momento que a máquina não vá estar em uso, além de poder conseguir as peças e equipamentos para a manutenção previamente a parada, reduzindo o tempo de operação da mesma. Porém ao utilizar esse método, é necessário um investimento inicial das empresas, na aquisição e implementação de sensores específicos nas máquinas para diagnosticar em tempo real as suas condições de vibração e temperatura.

E o motivo de ser realizado a leitura dessas duas variáveis em específico, se deve, pois as vibrações e temperaturas elevadas são muito comuns e podem provocar vários problemas nas máquinas, como desgaste excessivo, rachaduras, falhas estruturais, entre outros. Além de nos seres humanos, geralmente poder causar queimaduras, dor e desconforto, seja devido ao ruído ou ao calor emitido pela máquina.

No contexto da engenharia e física, a compreensão das vibrações é essencial para a análise do comportamento dinâmico de sistemas mecânicos, segundo RAO

(2006), movimentos que ocorrem repetidamente após determinados intervalos de tempo são denominados vibrações ou oscilações. Exemplos comuns desses movimentos incluem o balanço de um pêndulo e a vibração de uma corda após ser dedilhada. A teoria das vibrações dedica-se ao estudo dos movimentos oscilatórios de corpos e das forças que se originam ou influenciam.

De acordo com Rao (2008), o estudo das vibrações remonta a 400 a.C., com o interesse surgindo após a descoberta dos primeiros instrumentos musicais. Desde então, a comunidade científica tem se dedicado ao desenvolvimento de tecnologias e à investigação científica para entender e controlar esse fenômeno, de acordo com as necessidades da humanidade.

Já para a temperatura, a sua compreensão é necessária para entender a mudança das propriedades dos materiais com sua variação, o que pode gerar trincas e falhas nos componentes. Segundo Creder (2004) a temperatura é uma grandeza escalar que indica o grau de agitação térmica das partículas de um corpo. Quando dois objetos com temperaturas distintas entram em contato com um terceiro corpo, após um tempo, observa-se que os três atingem a mesma temperatura.

O controle de temperatura em equipamentos industriais é fundamental para garantir a segurança, a eficiência e a durabilidade dos sistemas produtivos. Em vários setores, como petroquímica, alimentícia, metalúrgica e farmacêutica, a temperatura tem um impacto direto na qualidade do produto final, no consumo de energia e na vida útil dos equipamentos. Mudanças inadequadas na temperatura podem levar a falhas mecânicas, deterioração de materiais, desperdício de energia e até colocar em risco a segurança dos trabalhadores.

A avaliação de vibração e temperatura são duas das metodologias da manutenção preditiva que tem como objetivo detectar vibrações originadas de outras partes do equipamento e/ou temperaturas elevadas na mesma, as quais impactam negativamente diversos componentes do ativo. Por isso, o monitoramento e o controle desses aspectos se tornaram áreas essenciais na manutenção e com o avanço das tecnologias de sensores e sistemas de controle, agora é possível obter dados precisos em tempo real, o que possibilita intervenções preventivas e corretivas mais eficazes por um certo custo.

Esse custo se deve, à própria implementação dos sensores que podem ter um valor alto de aquisição e instalação, ou mesmo, mensalidades para manter o sistema operando, o que gera um custo a mais para a empresa. E com isso vem a dúvida sobre o quão rentável essa implementação é, e quanto de retorno para a empresa isso realmente gera.

Devido a isso, este trabalho de conclusão de curso através de um estudo de caso, avaliará os impactos da contratação desse serviço pela empresa objeto do estudo, considerando os custos envolvidos e os benefícios obtidos em termos de redução de tempos de parada, otimização da manutenção e aumento da eficiência operacional. Para assim, diagnosticar se o investimento nos sensores de detecção de falhas, se converte em uma melhoria econômica para a mesma. Já que sua aquisição significa um acréscimo nas despesas mensais, por esses sensores serem alugados e não comprados.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica da contratação do serviço de monitoramento preditivo através da implementação de sensores, em uma fábrica de rações da região oeste de Santa Catarina.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Analisar os relatórios e alarmes de não conformidade gerados pelos dispositivos de monitoramento, assim como as ações realizadas nos equipamentos.
2. Analisar o impacto econômico causado pelo uso do sistema de monitoramento em diferentes setores da empresa.
3. Verificar se gerou economia para a empresa a contratação do sistema de monitoramento.



de dados de falhas nos equipamentos fornecidos pelo sistema do pacote de monitoramento. Essa base de dados detalha os alertas de picos de temperatura e vibração, os equipamentos que sofreram intervenção e a carga horária utilizada para correção. Adicionalmente, valores referenciais foram utilizados para contextualizar e validar a contratação do serviço de monitoramento.

## **2.1 Revisão de Literatura**

A pesquisa sobre a viabilidade econômica na contratação de sistemas de manutenção preditiva na indústria revelou um panorama extenso e pertinente de discussões. Para diversos autores, a manutenção industrial é um ponto crítico para as fábricas, pois representa uma parcela significativa dos seus gastos, ainda mais no setor alimentício que necessita cuidados mais minuciosos por questões de qualidade e principalmente pela higiene, enquanto as empresas tentam aumentar o volume de produção de alimentos para uma população em constante crescimento. Por esse motivo, estudos focados na economia, na redução de gastos com manutenção ou que permitem o aumento do volume de produção de rações e alimentos, mostraram-se muito úteis para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente aqueles que abordaram o uso de sistemas de sensores e monitoramento das máquinas.

As bibliografias que embasam este estudo abrangem desde conceitos gerais como a Indústria 4.0 (Sebrae, 2022) e a classificação de manutenção (preditiva e detectiva - IBM, [2015]), até especificidades dos sensores, incluindo tipologias, propriedades, princípios de funcionamento e suas vantagens potenciais (Batista, 2019, p. 01; Rosário e Cavalcante, 2022, p. 01). Nesse contexto, a Tractian [2019] é um exemplo de empresa brasileira especializada no desenvolvimento de tecnologias voltadas à manutenção preditiva industrial. Suas soluções integram sensores inteligentes e algoritmos de inteligência artificial com o objetivo de monitorar continuamente máquinas e equipamentos. A empresa afirma que sua tecnologia detecta antecipadamente falhas, promovendo o aumento da disponibilidade, confiabilidade e segurança operacional dos ativos.

Nas indústrias, especialmente nas fábricas de rações, o monitoramento

contínuo de grandezas físicas como vibração e temperatura assume um papel fundamental, uma vez que variações nesses parâmetros podem indicar condições anormais de operação, tais como problemas de lubrificação, desalinhamentos, folgas mecânicas ou desbalanceamentos em sistemas rotativos. Historicamente, algumas empresas ainda utilizam medições executadas de forma manual, por meio de instrumentos portáteis e dependentes da interpretação do técnico responsável, o que limita tanto a frequência das coletas quanto a precisão dos diagnósticos obtidos.

Portanto, como explicado por SILVA, D. de O et al (2023) e Toledo Junior, J. A et al (2025), a aplicação de sistemas de monitoramento contínuo, com sensores sem fio de vibração e temperatura, tem avançado com o objetivo de superar tais limitações. A utilização de sensores permite a coleta de dados em tempo real, possibilitando a detecção de falhas precocemente em máquinas críticas como moinhos, misturadores e exaustores presentes nesse trabalho, o que reduz paradas não programadas e aumenta a confiabilidade operacional. Tecnologias baseadas na análise dos picos de vibração e no uso de inteligência artificial potencializam a manutenção preditiva, identificando desgastes e falhas antes que se tornem panes gerais, fornecendo com base em seu banco de dados sugestões do que pode estar acontecendo no equipamento para os técnicos qualificados avaliarem, com isso elevando a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e otimizando custos.

Além disso, como demonstrado no trabalho de Rodrigues, A. L. V et al. (2023) juntamente com os trabalhos citados acima, o monitoramento da temperatura integrado com a vibração proporciona um panorama mais preciso e completo das condições dos equipamentos, já que alterações térmicas predizem falhas mecânicas graves relacionadas ao atrito e ao aquecimento excessivo. A utilização desses sensores inteligentes integrados com processamento automatizado dos dados em plataformas modernas predispõem a tendência da Indústria 4.0, promovendo intervenções planejadas e maior eficiência na manutenção tanto em fábricas de rações quanto em outras demais indústrias.

Reforçando essa aplicação, a Tractian também disponibiliza em seu sistema de monitoramento contínuo, sensores de vibração e temperatura que transmitem os dados coletados via comunicação sem fio para uma plataforma digital integrada. Por intermédio de técnicas de inteligência artificial, o sistema realiza análises

automáticas das informações coletadas, gerando alertas, relatórios e indicadores de desempenho que podem auxiliar nas tomadas de decisões da equipe de manutenção. O monitoramento constante das condições de operação, com base na análise de vibração e temperatura, também permite o aprimoramento dos planos de lubrificação (SILVA, Darlan M. et al., 2020), que passa a ser realizada com base na real necessidade do equipamento, evitando intervenções desnecessárias ou fora de tempo. Essa abordagem contribui para a eficiência do processo produtivo e para a redução de custos com manutenção corretiva.

Especificamente sobre o diagnóstico de falhas, nos rolamentos, a lubrificação adequada é essencial para o funcionamento eficiente e duradouro e conforme descrito no trabalho de análise de PIERINI, J. L et al (2023), tanto a ausência, como o excesso ou a degradação do lubrificante provoca aumento do atrito entre os elementos móveis, resultando em elevação da temperatura e alterações no padrão de vibração do equipamento. A medição contínua dessas variáveis permite identificar, de forma antecipada, condições de operação fora dos padrões aceitáveis, possibilitando intervenções pontuais antes que ocorra o dano ao componente. Da mesma forma, a análise de vibração também é eficaz para detectar desalinhamentos em sistemas rotativos. Conforme descrito no trabalho de TADEU DE ALMEIDA, M. et al. (2017), o desalinhamento entre componentes, como motores e bombas ou redutores e acoplamentos, gera esforços adicionais sobre os rolamentos, provocando vibrações em frequências características que podem ser diagnosticadas com o uso de sensores e ferramentas de análise espectral.

A correção precoce desses desalinhamentos reduz o desgaste dos componentes, melhora o rendimento energético do sistema e previne a propagação de falhas. Como resultado, a utilização dessas técnicas aparenta proporcionar um aumento significativo da vida útil dos componentes rotativos, melhora na disponibilidade dos equipamentos e promove uma gestão mais eficiente dos ativos industriais. A adoção desse tipo de monitoramento, além de representar uma prática moderna e alinhada aos princípios da manutenção preditiva, parece agregar valor operacional e econômico às organizações industriais.

Complementando o panorama de relevância econômica, observou-se um grande acervo de estudos nessa área, desde a exploração dos aspectos gerais da

mudança da indústria, das tecnologias e inovações emergentes (Segóbia e Oliveira, [2018]; Paz et al., 2022, p. 01) até estudos dedicados ao custo-benefício da implementação desses sensores (Rodrigues et al., 2023, p. 01; Marçal e Santos, 2013). Nestes estudos, notou-se uma riqueza de detalhes e rigor metodológico para as análises de viabilidade econômica, tornando-se uma valiosa referência para o desenvolvimento deste presente trabalho. Liga Ventures (2023) mostrou dados do Departamento de Energia dos Estados Unidos indicam que programas bem estruturados de manutenção preditiva podem gerar um retorno de até 10 vezes o valor investido, além de reduzir os custos de manutenção em 25% a 30%, as falhas em até 75% e o tempo de inatividade em 35% – 45%. Esses resultados reforçam a relevância da adoção de tecnologias inteligentes como sensores e sistemas digitais para viabilizar tais estratégias.

Entretanto, a avaliação completa da implementação desses sistemas exige a análise de seus desafios práticos, e nesse sentido, durante a pesquisa foi identificada uma limitação importante para a presente investigação. Essa limitação está relacionada ao tempo de retorno do investimento (ROI), conforme demonstrado no estudo de Ponci (2019). O autor apresenta uma análise comparativa do tempo necessário para que a implementação de um sistema de monitoramento preditivo retorne o investimento, segregado por diferentes segmentos da indústria (Tabela 1).

Tabela 01 - Tempo para retorno do investimento em monitoramento preditivo.

Indústria	Meses
Mineração	14
Automobilística	15
Química	24
Alimentos	13
Metalurgia	12
Papel	19
Petróleo	11
Utilidades	24

Fonte: PONEI, 2019, p. 10

Com base nos dados tabulados por Ponci (2019), o segmento de indústrias alimentícias apresenta um tempo médio de 13 meses para o retorno do investimento na implantação de sistemas de monitoramento aplicados à manutenção preditiva. Essa informação se torna um ponto de atenção fundamental ao analisar a viabilidade econômica do sistema no contexto específico deste trabalho. Dessa forma, para aprofundar o referencial teórico e a base metodológica, a pesquisa será complementada com a utilização de metodologias e técnicas baseadas em obras fundamentais como *Técnicas de Manutenção Preditiva* (Nepomuceno, 1989) e *Manutenção Industrial* (Gregório; Silveira, 2018).

## 2.2 Metodologia de Avaliação

Este trabalho se baseou em dados obtidos com base nos dados da empresa em questão e em seu sistema de monitoramento. O objetivo central foi comparar os custos relacionados à implementação dos sensores e seus gastos mensais com a economia obtida por meio da redução de trocas de peças nos equipamentos e da diminuição das paradas de produção, fatores que impactam diretamente o

desempenho da fábrica. A análise contemplou o período de janeiro de 2025 à julho de 2025, período em que o pacote de monitoramento esteve em uso.

Para a avaliação da viabilidade econômica do sistema, calculou-se o custo médio mensal de produção das rações a partir do histórico fornecido pela empresa, bem como o custo mensal total do pacote de monitoramento. Além disso, com base nos dados disponibilizados pela plataforma do pacote de monitoramento, foram levantados os alarmes gerados pelos sensores e os respectivos tempos de parada associados. Também foi realizado o cálculo das peças que deixaram de ser substituídas, com base no histórico, em razão da intervenção imediata da equipe de manutenção, possibilitada pelos alarmes emitidos pelo pacote de serviço contratado.

Todos esses dados foram organizados em comparativos mensais ao longo do período analisado, resultando, ao final, em um balanço consolidado que demonstra a relação entre os custos de implementação e operação do pacote de serviço e a economia efetivamente obtida pela empresa.

Os resultados obtidos pela pesquisa foram comparados em duas situações da seguinte forma: (1) cada alarme gerado pelo sistema de monitoramento no período de estudo, que provocou uma intervenção da equipe de manutenção. Foi coletado o tempo de parada do equipamento e seus respectivos custos de manutenção e (2) em históricos de manutenção do próprio equipamento, estipulou-se o tempo ocioso e o custo de manutenção caso a intervenção fosse feita somente quando o defeito se tornasse uma pane do equipamento (sem o uso dos sensores de monitoramento implementado).

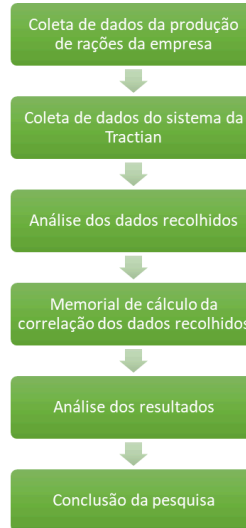
Com esses dados, comparou-se se a unidade fabril manteria a produção de ração por mais tempo com o sistema de monitoramento e se seus custos, somados ao custo do sistema, seriam menores que no cenário sem ele. Caso comprovada a economia, verificou-se se o resultado ficou abaixo, igual ou acima do prometido pela empresa fornecedora.

### **2.3 Fluxograma**

Os dados necessários para o desenvolvimento deste estudo foram tratados

conforme o fluxograma apresentado na Figura 02:

Figura 02 - Fluxograma dos dados de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O fluxograma apresentado descreve as etapas metodológicas de uma pesquisa baseada na análise de dados de produção e manutenção. O processo inicia-se com a coleta de dados da produção de rações da empresa e do sistema da Tractian. Em seguida, os dados são analisados e utilizados na elaboração de um memorial de cálculo para verificar correlações. Após isso, realiza-se a análise dos resultados obtidos e, por fim, chega-se à conclusão da pesquisa. Esse fluxo garante uma abordagem estruturada e lógica para validar os objetivos do estudo.

### 3 DESENVOLVIMENTO

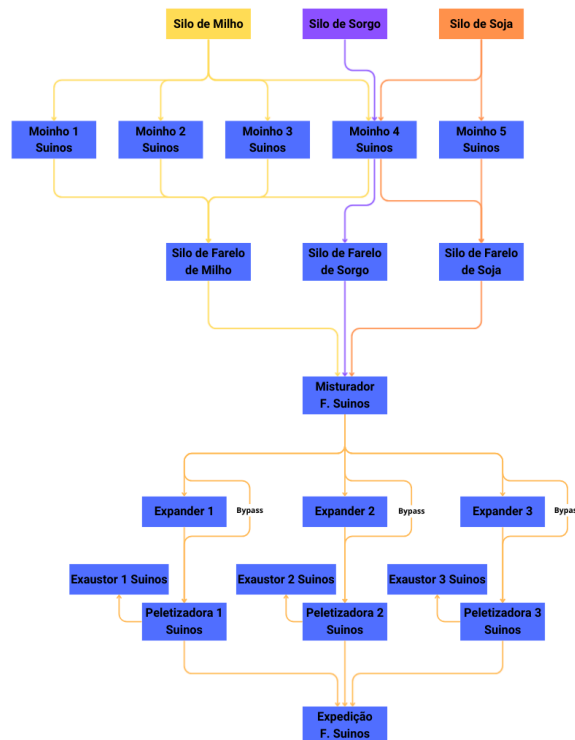
#### 3.1 Arranjo físico das Máquinas da Fábrica

Neste tópico estão dispostas de forma simplificada, as máquinas das duas “fábricas” (suínos e aves) presentes na unidade de produção de ração objeto do estudo. É importante ressaltar que a explicação será focada apenas nas máquinas contempladas com o sistema de monitoramento, objeto de estudo, por isso, os processos intermediários entre elas foram ocultados por serem irrelevantes para o estudo atual.

##### 3.1.1 Fábrica de suínos

O arranjo físico da fábrica de suínos, como mostrado na imagem a seguir (Figura 02), se apresenta na seguinte configuração.

Figura 03 - Fábrica de Suínos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

São cinco moinhos responsáveis pela moagem dos grãos para a fabricação da ração, sendo que desses, três são dedicados exclusivamente para a moagem de milho por ser o farelo mais utilizado nas fórmulas de ração, um dedicado para a moagem de soja e um moinho auxiliar que, além de ser utilizado para a moagem de sorgo, também é responsável por suprir a produção dos demais farelos conforme a demanda.

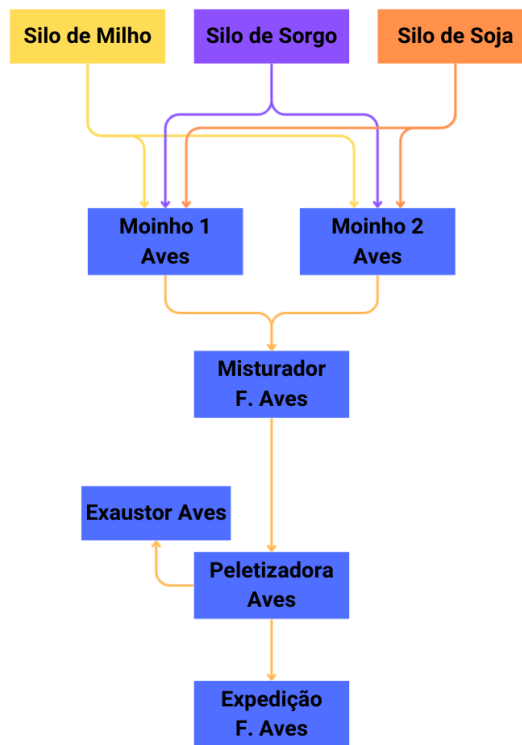
Em seguida, os farelos moídos são encaminhados para silos de armazenagem, os quais garantem uma autonomia de produção de aproximadamente 30 minutos para o farelo de milho e cerca de 1 hora para os farelos de soja e sorgo. Esses farelos são misturados com outros formulados no misturador para produzir a ração a ser peletizada e após esse processo a mesma é direcionada a uma das três linhas de produção de ração peletizada.

As três linhas de ração peletizada são iguais entre si. Durante o processamento a ração recebe um jato de vapor e passa por um expensor que é uma extrusora, no intuito de esterilizar e melhorar as qualidades da ração (a conversão alimentar) ou em caso do equipamento não estar em funcionamento, é possível pular essa etapa através de um desvio, mas ao custo de diminuir a qualidade do produto. Após essa etapa a ração entra na peletizadora para ganhar a textura e forma de péletes, além de ser retirado o excesso de umidade proveniente do vapor com a utilização de um exaustor, sendo extremamente necessário para evitar a propagação de patógenos na mesma. Após todos esses processos, a ração ainda é resfriada e mandada para a expedição da fábrica onde será distribuída através de caminhões para os associados da empresa.

### 3.1.2 Fábrica de aves

O arranjo físico da fábrica de aves (Figura 03) segue um processo parecido com a fábrica de suínos, com a diferença de ser apenas uma linha de produção e não ter a presença de silos de farelo e do expensor.

Figura 04 - Fábrica de Aves.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A fábrica de aves é composta por dois moinhos que dividem as funções de moagem dos grãos, ao contrário da fábrica de suínos, essa não tem silos de armazenagem de farelos, sendo que os mesmos são produzidos diretamente sobre demanda para o misturador. Após o misturador, a ração ainda recebe o jato de vapor para esterilizar qualquer patógeno presente na mesma, porém ao contrário da fábrica de suínos, a ração não passa por um expansor, indo direto para a peletizadora, onde ganha a textura e forma de pélete e retira o excesso de umidade proveniente do vapor com a utilização de um exaustor. Com isso, a ração segue o mesmo processo da fábrica de suínos, sendo resfriada e mandada para a expedição e distribuída para os associados.

### 3.2 Avaliação

Para a avaliação da viabilidade econômica da contratação do serviço de monitoramento, foi analisado o período de utilização do sistema compreendido entre

janeiro a julho de 2025, considerando as ocorrências e situações-problema registradas ao longo desse intervalo. Por se tratar de dados sensíveis e confidenciais da empresa, optou-se por apresentar os resultados em valores percentuais, ao invés de absolutos. Além disso, para facilitar a compreensão das análises e padronizar a apresentação dos resultados, adotou-se uma moeda fictícia, denominada “difsc”, para representar os valores monetários utilizados neste estudo.

### 3.3.1 Referencial base para o estudo

A verba orçamentária mensal limite da empresa destinada à manutenção é de 100.000 difsc e o custo de manutenção mensal normalmente atinge o valor limite. Este, se refere ao custo total antes da contratação do serviço de monitoramento.

A empresa contratada, cobra pelos tipos de medição e pela quantidade de sensores instalados. Para este trabalho, num primeiro momento foi estabelecido as medições desejadas, vibração e temperatura, e posteriormente, levantou-se o número de sensores necessários para cada uma das medições. Contratada a empresa, 80 sensores foram instalados e adicionados ao custo da manutenção no valor de 1.640 difsc/mês. Porém, com a adição deste custo, não pode exceder o valor total dos custos de manutenção mensal.

Tendo esse valor adicional, o trabalho avaliou através das situações problema se o valor acrescido pela contratação da empresa de monitoramento possibilitou a redução dos custos de manutenção para valores inferiores à 100.000 difsc/mês.

Inicialmente o sistema de monitoramento foi implementado para diminuir os custos da área de Manutenção da empresa. Porém, espera-se também que o monitoramento pudesse produzir ganhos significativos para a área de Produção, aumentando o volume de ração produzida. Tomando como base os valores médios de produção mensal, comparou-se aos valores de produção mensal após a instalação do sistema de monitoramento.

Para a determinação do volume de ração produzida por mês (vr/mês), foi admitida a situação ideal, onde não há parada dos equipamentos para a realização de manutenção. Nessa situação-problema, assume-se que o volume de produção é

de 100.000 vrp/mês. A fábrica possui 4 linhas de produção de mesma capacidade, sendo 1 linha de aves (25.000 vr/mês) e 3 de suínos (75.000 vr/mês).

### 3.3.2 Dados do estudo

Os dados obtidos para este estudo foram coletados a partir do sistema de monitoramento, quando o alarme era acionado. Esses dados foram comparados com os do histórico (estipulado) de manutenção da empresa. Para uma melhor compreensão, os resultados foram organizados e agrupados em tabelas e gráficos.

Tabela 02 - Custos de manutenção

Mês	Custo Manutenção Real (difsc)	Custo Manutenção Estipulado (difsc)
Jan/2025	0,00	64,53
Fev/2025	693,81	1.606,49
Mar/2025	386,49	993,73
Abr/2025	626,34	4.319,29
Mai/2025	434	668,94
Jun/2025	1.177,86	4.244,91
Jul/2025	210,41	358,69
Média Mensal	504,13	1.750,94

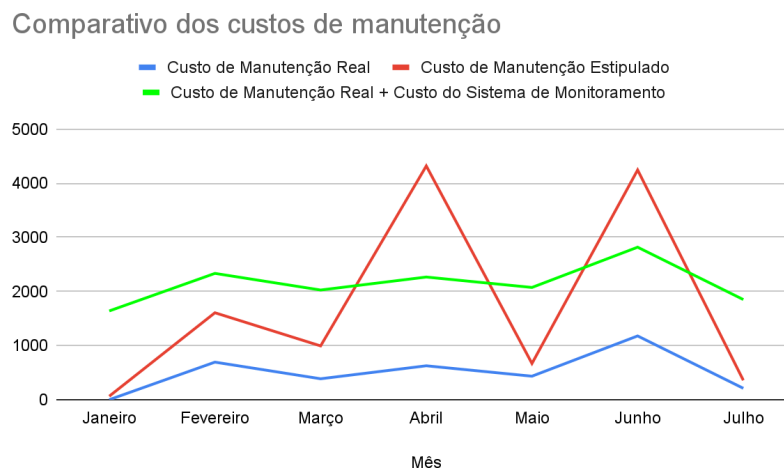
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Na Tabela 02, é possível observar a relação dos custos de manutenção, tomando como base o valor da troca de peças ao longo do período de estudo, mês a mês. A segunda coluna mostra os gastos reais obtidos pela empresa, oriundos dos alarmes do sistema de monitoramento. A terceira coluna apresenta o custo

estimado, baseado nesses mesmos casos, caso o sistema de monitoramento não estivesse instalado, utilizando o histórico de manutenção fornecido pela empresa como referência de custos. Nota-se uma grande oscilação nos valores, o que é esperado devido à imprevisibilidade da quebra dos equipamentos.

Entretanto, é evidente que, com o sistema, os gastos reais se mantiveram significativamente menores, visto que o alarme proporciona um aviso para intervenção antes da falha total do equipamento, reduzindo o custo de reparo. No primeiro mês, com o auxílio do sistema, foi possível realizar preventivas, evitando falhas. Apesar disso, nos meses seguintes, houve oscilação nos custos de manutenção. O mês de junho chama a atenção devido ao seu valor elevado, o qual se deveu às trocas de equipamentos velhos que apresentavam grandes números de falhas. Mesmo assim, foi percebido, de forma geral, que os custos de manutenção caíram para menos de um terço do estipulado quando comparado às médias do período. Para um melhor detalhamento visual, exibe-se a Figura 05, que compara os custos de manutenção ao longo dos meses.

Figura 05 - Gráfico Custo de manutenção



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O gráfico da Figura 05 mostra o comparativo dos custos de manutenção ao longo dos meses de pesquisa, onde é possível notar que, com a implementação do sistema de monitoramento, os custos de manutenção real diminuíram em relação ao especulado. Contudo, quando somado ao custo de aluguel do sistema, foi notado

que os custos totais aumentaram para mais que o especulado, sendo que, na média, o sistema não conseguiu pagar-se apenas pela economia em manutenção.

Em seguida, a Tabela 03 mostra os principais equipamentos que apresentaram falhas ao longo do período de estudo e suas respectivas ocorrências. Essa tabela, quando observada juntamente das Figuras 03 e 04 (mencionadas no texto original, mas não fornecidas aqui), dá um panorama do impacto que esses equipamentos têm sobre a produção.

Tabela 03 - Quebra de equipamentos

Equipamento Principal	Quantidade de Ocorrências	Tipos de Problemas Comuns	Volume de produção real não produzido
Moinho (Geral)	11	Quebra de martelos, desbalanceamento, problemas em mancal/rolamento/bucha, quebra de peneira, quebra de acoplamento.	9,9751 vr
Exaustor	4	Falha de desbalanceamento do rotor, aumento de temperatura em mancal/rolamento (necessitando lubrificação), folga em mancal.	0,685 vr
Misturador de Aves	3	Indícios de quebra/defeito no acoplamento elástico/anel.	1,37 vr
Moinho 02 (Soja)	3	Quebra de mancal/martelo/peneira, folga axial de eixo.	1,0275 vr
Moinho 01 (Suínos)	3	Quebra de martelos, desbalanceamento, aumento de temperatura no mancal.	2,543 vr

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

De forma não surpreendente, o maior número de ocorrências acabou sendo nos moinhos, pelo maior número de unidades presentes na empresa. Outros

equipamentos que se destacaram pelo número de ocorrências foram os exaustores, principalmente os da linha 01 e 02 (suínos), que, por se tratarem de equipamentos velhos, geravam muitas falhas até serem substituídos por um modelo novo. Nos demais, o misturador de aves se mostrou problemático, pois, após a primeira pane devido ao acoplamento, passou a danificar com frequência a borracha de união, exigindo substituições constantes até que o problema fosse corrigido e o equipamento voltasse a operar normalmente.

Em relação ao volume de ração não produzido, observa-se que as perdas reais estiveram concentradas nos moinhos, evidenciando a elevada criticidade desses equipamentos para a continuidade do processo produtivo. Entre eles, o moinho 01 de suínos apresentou impacto mais recorrente em função da repetição de falhas semelhantes ao longo do período analisado, enquanto o moinho 02 de soja concentrou sua perda em um evento isolado de maior severidade.

A Tabela 04 mostra um comparativo dos volumes de ração não produzidos ao longo do período de estudo, tanto o real quanto o esperado (especulado) caso o sistema de monitoramento não tivesse sido instalado. A situação especulada foi calculada com base no histórico de produção e da manutenção, onde a empresa forneceu a média de ração produzida por hora; com o histórico de manutenção, foi possível calcular, pelos custos de manutenção especulados, qual seria o tempo de parada das máquinas e, assim, o quanto de ração não seria produzido.

Tabela 04 - Volume de ração não produzida

Mês	Volume de Ração Não Produzida Real (vr)	Volume de Ração Não Produzida Estipulada (vr)
Jan/2025	0,00	1,0275
Fev/2025	2,7400	9,0762
Mar/2025	0,5120	5,2899
Abr/2025	2,8855	14,6502
Mai/2025	5,2950	11,4600
Jun/2025	16,6951	19,2467

Jul/2025	0,6850	3,4250
Média Mensal	4,1161	9,1679

---

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Comparando as duas situações, é possível notar que, na situação especulada, o volume de ração não produzido foi maior que o volume da situação real, em grande parte porque na estimativa houve mais paradas e por períodos maiores. Esses dados, quando comparados com a Tabela 02, demonstram uma semelhança em suas oscilações ao longo dos meses. O motivo deve-se em grande parte ao cálculo da situação especulada, que considerou as horas que as linhas teriam que ficar paradas para manutenção, ou seja, não estariam produzindo ração. No mês de janeiro, não houve volumes de ração não produzidos por não haver paradas.

Por outro lado, no mês de junho, devido à troca de dois equipamentos muito avariados, duas linhas de produção de ração para suínos ficaram paradas por um longo período. Este fato explica o elevado número do volume de ração não produzida real ter sido o mais alto em todo o período analisado. É importante notar que no acumulado dos meses de abril a junho houve um grande volume de ração não produzida estipulada, devido aos equipamentos que apresentaram falha potencial que poderiam resultar num grande tempo de parada das linhas, como o motor da peletizadora no mês de maio e o grande número de ocorrências como no mês de junho.

Os demais períodos tiveram resultados relativamente próximos. Isso aconteceu pelo fato de o sistema de monitoramento ter conseguido notificar a equipe de manutenção com antecedência, permitindo que a mesma se programasse para realizar as manutenções no menor tempo possível. Por esse motivo, ao comparar com a situação estimada — também calculada com base no histórico de manutenções da empresa — percebe-se que o volume não produzido de ração estimado seria bem maior que o real, pois foram situações que pegariam a equipe despreparada, resultando em muitas horas de espera apenas para a chegada das peças necessárias às trocas.

Em seguida, um dado importante foi calculado: o volume de ração não

produzido médio ao longo do período estudado. Esse volume, convertido em difsc, utilizando o valor de referência 87.725,85 difsc/vr cedido pela empresa, foi comparado com o valor das mensalidades do uso do sistema de monitoramento para avaliar a rentabilidade financeira para a produção. O valor médio real (VRR) e estipulado (VRE) em difsc que a empresa deixou de produzir em ração com o uso do sistema de monitoramento no período estudado pode ser calculado pela razão entre o preço da ração real (PRR) e estimado (PRE) e a quantidade de meses no período (\$M\$). É representado matematicamente pelas equações 01 e 02, respectivamente:

$$VRR = PRR / M \quad (\text{eq. 01})$$

$$VRE = PRE / M \quad (\text{eq. 02})$$

Obteve-se o valor mensal médio de ração real e estipulada produzida, 361.079,60 difsc/mês e 804.261,82 difsc/mês. Com esses valores, foi possível calcular, utilizando a equação 03, a economia de produção proporcionada (EG) pelo sistema de monitoramento, e determinar quantas vezes o sistema se pagou em termos de resultados financeiros (CP), que é a razão entre a economia gerada e o custo do sistema (CS).

$$EG = VRE - VRR \quad (\text{eq. 03})$$

$$CP = \frac{EG}{CS} \quad (\text{eq. 04})$$

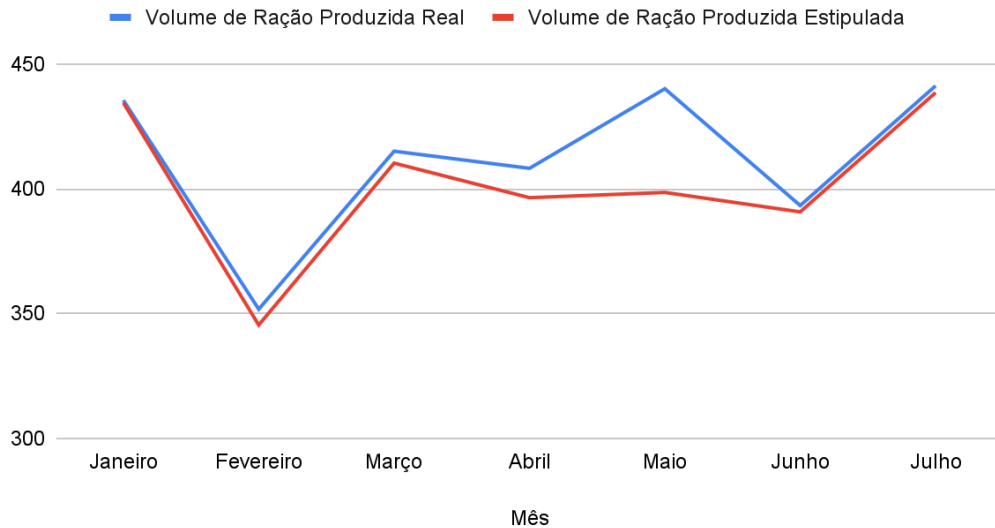
Assim, foi calculada a economia gerada para a produção, que foi de aproximadamente 443.182,22 difsc/mês. Tal fato foi possível devido à diminuição do tempo de parada das máquinas de ração que fizeram uso do sistema de monitoramento. O valor recuperado pela implantação do sistema de monitoramento é o equivalente a 271 vezes o seu custo. Logo, é visto que o sistema proporciona aumento da receita da empresa e, conseqüentemente, gera uma economia comparativa, no sentido de gerar mais receita ao invés de gerar menos despesas.

Esse desempenho é explicado, em grande parte, pelo elevado volume de produção: a máquina processa toneladas de ração por hora. Por esta razão, cada minuto recuperado, seja ele por uma eventual parada devido à falha, impacta em um

retorno financeiro significativo, tornando o sistema de monitoramento viável para a empresa. Abaixo é possível visualizar através da Figura 06 um comparativo do volume de ração produzido após a aplicação do sistema (situação real), com o esperado com base no histórico caso não tivesse o sistema instalado (situação especulada), sendo importante ressaltar que a situação ideal baseada nas metas de produção da supervisão da fábrica seria de 1000 vrp.

Figura 06 - Volume de ração produzida

## Comparativo dos volumes de ração produzidos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

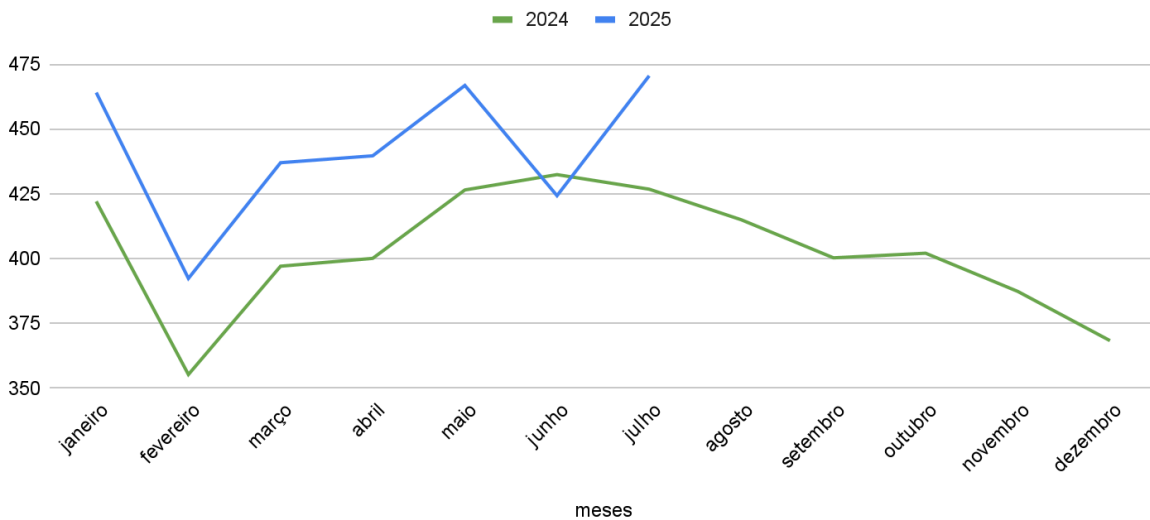
No gráfico da Figura 06, algo notável foi uma queda acentuada no início do ano seguido de uma rápida recuperação. Um dos motivos para tal acontecimento é o fato de fevereiro ter menos dias e, em decorrência do feriado de carnaval, houve uma redução na produção durante esse período, mesmo não havendo parada completa para as festividades. Também é importante ressaltar que parte dessa oscilação tem influência do gráfico da Figura 05, o que se deve à forma como foi calculado a perda de produção, sendo relacionada ao tempo parado das máquinas para manutenção, já que é a situação afetada pelo uso do sensor, ou seja, outras possíveis paradas não foram consideradas.

Algo muito notável foi a grande diferença no mês de maio entre a situação real e a especulada. Isso aconteceu devido ao grande número de alertas que o sistema gerou no decorrer do mês anterior, que foram rapidamente corrigidos com preventivas, evitando que cenários piores acontecessem. Outra situação notável se mostrou no grande aumento na produção de junho para julho, que teve grande impacto pela troca dos exaustores que estavam apresentando diversas falhas e às vezes até panes. Após a substituição, as linhas de produção conseguiram se manter produzindo por um período de tempo bem mais longo, sem paradas para interferência.

Como reflexo desses ajustes e da maior confiabilidade operacional alcançada ao longo do ano, é possível conferir pela Figura 07, um gráfico que compara o volume de ração produzida no período de janeiro até julho. Através dela observa-se um aumento geral na produção de ração do ano de 2024 para 2025.

Figura 07 - Comparativo do volume de ração 2024 - 2025

### Comparativo da produção de ração



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Algo notado no comparativo dos dois anos foi o aumento sutil no volume de ração, de 4%. Um dos motivos observados para esse resultado foi o fato de a unidade fabril ser mais antiga, e mesmo com o sistema de monitoramento, problemas mais críticos nos equipamentos, já presentes devido ao tempo de uso, não puderam ser resolvidos num período tão curto de tempo. Adicionalmente, algo que foi passado pela liderança da fábrica foi que a mesma trabalha sobre demanda do destinatário da ração, ou seja, há um gargalo no fluxo de produção gerado pelo despacho de ração na expedição. A qual, se regula com base na demanda das granjas, que tem sua produção impactada pela sazonalidade no consumo de certos alimentos, seja por datas festivas, pelo poder aquisitivo da população ou pelos mais diversos fatores.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Discussão dos resultados de manutenção

A análise dos resultados obtidos ao longo do período estudado permitiu confirmar, em grande parte, as hipóteses iniciais sobre a efetividade do sistema de monitoramento preditivo. Observou-se que a utilização dos sensores foi fundamental para a redução significativa do tempo de parada dos equipamentos e para a diminuição do número de falhas críticas que resultariam em substituições mais onerosas. Em diversos casos, as intervenções puderam ser planejadas de forma preventiva, evitando paradas inesperadas e contribuindo diretamente para a maior confiabilidade operacional da planta.

Entretanto, ao avaliar o aspecto econômico sob a ótica dos custos diretos de manutenção, verificou-se que, apesar da expressiva melhoria operacional, o investimento no sistema ainda não se pagou totalmente apenas com a economia gerada nos custos de manutenção. Este resultado pode ser atribuído principalmente ao prazo reduzido do estudo, que como demonstrado na tabela 01 limitou a análise a um período de sete meses, não permitindo a observação de ganhos de longo prazo.

É importante destacar, contudo, que diversos fatores indiretos não foram incluídos nos cálculos, mas que exercem influência significativa sobre o resultado final. Entre eles, podem ser citados: o tempo de resposta da equipe de manutenção aos alarmes, o custo-hora do pessoal envolvido, a otimização das manutenções não diretamente relacionadas aos sensores, bem como o aumento da disponibilidade dos equipamentos para produção. Esses aspectos, quando considerados em uma análise de ciclo de vida mais abrangente, tenderiam a reforçar a viabilidade econômica do sistema. Assim, conclui-se que o monitoramento preditivo demonstrou eficiência técnica e operacional, ainda que o retorno financeiro direto na manutenção não tenha sido totalmente alcançado no curto prazo analisado.

## 4.2 Impacto econômico na produção

Outro ponto de destaque na análise foi o impacto positivo do sistema de monitoramento sobre a produção de ração. A utilização de planilhas comparativas e gráficos de desempenho, elaborados a partir dos dados coletados, possibilitou uma visualização clara da relação entre os alarmes emitidos, o tempo de parada dos equipamentos e o volume de ração produzido mensalmente. Esses instrumentos de apoio mostraram-se essenciais para compreender a magnitude dos ganhos operacionais alcançados.

Os resultados evidenciaram que, embora a redução dos custos de manutenção tenha sido relevante, o benefício mais expressivo ocorreu no aumento da produtividade. A detecção precoce de falhas evitou longas interrupções no processo, o que se refletiu diretamente no volume de ração produzida e, conseqüentemente, na receita gerada pela fábrica. Assim, constatou-se que o impacto econômico positivo da adoção dos sensores se manifestou de forma mais significativa na continuidade da produção do que na simples diminuição de gastos com manutenção.

Essa discrepância entre os resultados de manutenção e de produção apresenta uma lógica evidente. Enquanto os custos de manutenção representam despesas necessárias à operação, a produção de ração está diretamente relacionada à geração de receita da empresa. Dessa forma, qualquer redução nas paradas e nos tempos de indisponibilidade dos equipamentos implica ganhos financeiros mais substanciais. Em síntese, os resultados demonstram que, mesmo que o sistema de monitoramento ainda não tenha se pago apenas pelos custos de manutenção, sua contribuição para o aumento da produtividade e da rentabilidade global da planta é indiscutível, confirmando sua viabilidade técnica e estratégica no contexto industrial analisado.

## 5 CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo analisar a viabilidade econômica da instalação de um sistema de monitoramento preditivo aplicado à manutenção industrial e à produção de ração em uma fábrica localizada no oeste de Santa Catarina. O estudo teve como foco principal comparar os custos de implantação e operação do serviço com os retornos financeiros obtidos pela empresa no período compreendido entre janeiro e junho de 2025.

A partir da análise dos resultados obtidos, verificou-se que o sistema apresentou eficiência técnica e operacional significativa, refletida principalmente na redução do tempo de parada dos equipamentos, na diminuição das falhas críticas e no aumento da confiabilidade dos ativos produtivos. Em termos econômicos, observou-se que houve uma redução considerável nos custos diretos de manutenção, ainda que não suficiente, isoladamente, para cobrir integralmente os custos de implementação e operação do sistema.

Contudo, ao considerar os ganhos indiretos e o impacto sobre a produtividade, o investimento mostrou-se plenamente justificável. Isso porque o sistema de monitoramento contribuiu de maneira expressiva para o aumento da produção de ração, o que resultou em uma elevação proporcional da receita da empresa. Assim, pode-se afirmar que o sistema não se pagou apenas pelos custos economizados em manutenção, mas tornou-se vantajoso ao considerar o aumento de receita proporcionado pela continuidade da produção e pela redução de paradas não programadas.

Durante o desenvolvimento do estudo, algumas limitações metodológicas foram observadas e impactaram diretamente a profundidade da análise. A principal delas foi o prazo restrito para coleta de dados, o que gerou resultados que, por serem carentes de maior tempo de observação, necessitam de uma avaliação em médio ou longo prazo para comprovar sua real viabilidade. Outra limitação foi a ausência de fatores complementares, como o impacto da ferramenta na disponibilidade da equipe de manutenção, o tempo de resposta às ocorrências e as melhorias na qualidade do processo e nas condições de trabalho dos colaboradores, o que também contribuiu para essa não comprovação total no curto prazo.

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos de médio ou longo prazo, abrangendo um período mínimo de doze meses, a fim de avaliar com maior precisão a relação custo-benefício do sistema e o retorno sobre o investimento (ROI) em diferentes cenários de operação. Além disso, sugere-se a inclusão de indicadores complementares, como disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e Eficiência Global dos Equipamentos (OEE), permitindo uma visão mais ampla sobre o desempenho industrial. Outra possibilidade seria a análise de impactos ambientais e energéticos decorrentes da aplicação de sistemas de monitoramento, ampliando a relevância do estudo para o contexto da indústria sustentável e 4.0.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.

BUSINESS INSIDER. **AI and robotics for predictive maintenance**. 2023. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/artificial-intelligence-robotics-predictive-maintenance-manufacturing-factory-solutions-2025-5>. Acesso em: 13 jul. 2025.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

EDENRED. **Manutenção preditiva: o que é e como reduzir custos com ela**. Blog Edenred Mobilidade, 2023. Disponível em: <https://blog.edenredmobilidade.com.br/gestao-de-frotas/manutencao-preditiva/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

IBM. *O que é manutenção preditiva?* IBM, <https://www.ibm.com/br-pt/topics/predictive-maintenance>. Acesso em: 26 Abr. 2025.

LIGA VENTURES. **Manutenção preditiva: o caminho para um setor mais eficiente e inteligente**. 2023. Disponível em: <https://liga.ventures/insights/artigos/manutencao-preditiva-o-caminho-para-um-setor-mais-eficiente-e-inteligente/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

PIERINI, J. L.; CASTRO, R. de M.; PEREIRA, A. J. L.; CURI, E. I. M.; INACIO, L. F. F. Análise do comportamento tribológico de óleo lubrificante mineral com adição de nanopartículas visando a aplicação em um motoredutor. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, [S. l.], v. 21, n. 9, p. 13692–13717, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n9-172. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1612>. Acesso em: 27 jul. 2025.

PONCI, Luciano. Análise de vibrações na manutenção preditiva. Palestra interna apresentada na TEKNIKAO Indústria e Comércio Ltda.

RAO, Singiresu, **Vibrações Mecânicas**. 4ª ed. São Paulo, SP. Pearson Prentice Hall, 2008.

RODRIGUES, A. L. V.; GOMES, G.; BOUZON, M.; FRAZZON, E. M. Estudo de viabilidade para implementação de manutenção preditiva no contexto da indústria 4.0. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 9, n. 8, p. 23133–23154, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n8-002. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/61839>. Acesso em: 27 jul. 2025.

SEBRAE. *A 4ª revolução industrial e a indústria 4.0*. Publicado em 20 de abril de 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/quando-surgiu-a-industria-40,4542c009cbce3810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 12 de maio de 2025.

SEGÓBIA, José Carlos Braga. **Técnicas de manutenção preditiva para análise de vibração mecânica em equipamentos industriais**. 2022.

SILVA, D. de O.; BIAZON, L. G.; SANTOS, T. B.; NOVAES, Y. S.; DA COSTA, A. F. MANUTENÇÃO PREDITIVA - ANÁLISE DE VIBRAÇÕES NA INDÚSTRIA 4.0. *REVISTA FOCO*, [S. l.], v. 16, n. 11, p. e3628, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n11-104. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3628>. Acesso em: 5 dez. 2025.

SILVA, Darlan Marques da; ANDRADE, Ivo Campos; ALVES, Jordania Louse Silva; LOURENÇO, Rodrigo Francisco Borges; VASCONCELOS, Giancarlo Ribeiro. The maintenance of components as a critical factor in the processing of soybeans and their unfolding. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, e241974023, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/4023/3401>. Acesso em: 26 nov. 2025.

TADEU DE ALMEIDA, M.; JULIANO DE LIMA JR., J. Diagnóstico de desalinhamento em um acoplamento de disco usando análise por órbita e por espectro de

frequência. *Acústica e Vibrações*, [S. l.], v. 6, n. 09, p. 43–53, 1991. DOI: 10.55753/aev.v6e09.76. Disponível em: [https://revista.acustica.org.br/acustica/article/view/aev09\\_desalinhamento](https://revista.acustica.org.br/acustica/article/view/aev09_desalinhamento). Acesso em: 26 nov. 2025.

TOLEDO JUNIOR , J. A.; SILVA , L. F. F. da; MOREIRA, J. de S.; SILVA , L. A. R. da. Viabilidade Tecnológica de Sensores Sem Fio para Medição de Vibração do Rotor de Motores Elétricos. *Revista de Gestão e Secretariado*, [S. l.], v. 16, n. 11, p. e5411, 2025. DOI: 10.7769/gesec.v16i11.5411. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/5411>. Acesso em: 5 dez. 2025.

VEDAN. Alex. **Manutenção Detectiva: o que é e sua importância na indústria**. TRACTIAN, 2023. Disponível em: <https://tractian.com/blog/manutencao-detectiva-o-que-e-e-sua-importancia-na-industria>. Acesso em: 07 abr. 2025.