

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO ALBANO SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO BASEADA
NOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0: *SMART SYSTEM* APLICADO
PARA UMA CALDEIRA DE UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2022

GUSTAVO ALBANO SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO BASEADA
NOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0: *SMART SYSTEM* APLICADO
PARA UMA CALDEIRA DE UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Campus Guarapuava.
Orientadora: Prof. Dra. Marjorie Maria Bellinello

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUSTAVO ALBANO SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO BASEADA NOS
CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0: *SMART SYSTEM* APLICADO PARA
UMA CALDEIRA DE UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Campus Guarapuava.

Data de aprovação: 21/junho/2022

Profª. Dra. Marjorie Maria Bellinello

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -UTFPR-GP

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR-CT

Prof. Dr. Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR-GP

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

Dedico este trabalho à minha família, namorada e amigos,
que mesmo distante sempre estiveram comigo e me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaria de agradecer aos meus pais que durante toda a trajetória estiveram comigo e se esforçaram incondicionalmente para que eu pudesse realizar tudo isso. Sem vocês isso não seria possível.

Agradecer a minha namorada pelo incentivo diário e companheirismo presente em toda a jornada.

Aos familiares pelo apoio, aos amigos de vida e de jornada, pela contribuição ímpar de cada um.

A minha orientadora Profa. Dra. Marjorie Bellinello que sempre se dispôs a me auxiliar e guiar para a conclusão deste trabalho.

Ao Anderson Kchecinski Correia pela disponibilização dos dados para desenvolvimento deste trabalho.

E por fim, a todos os professores que durante o curso contribuíram para minha vida acadêmica.

SOARES, Gustavo. **Desenvolvimento de política de manutenção baseada nos conceitos da Indústria 4.0: *smart system* aplicado para uma caldeira de uma indústria papaleira.** 2022. 96 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2022.

RESUMO

Uma manutenção industrial adequada é capaz de aumentar a segurança, a disponibilidade, qualidade e o tempo de vida do equipamento, evitando falhas e perdas. A Indústria 4.0 traz consigo a digitalização de informações e a automação de processos de execução, sendo capaz de unir dados que estão em diferentes bases e com a automação há um aumento na confiabilidade, mitigando a ocorrência de falhas humanas. A caldeira do estudo de caso não possui uma política de manutenção e sua disponibilidade afeta diretamente a produtividade da empresa. Dito isso, este trabalho visa aplicar tecnologias da Indústria 4.0 para estruturar um plano de manutenção eficiente suportado por um sistema especialista (*Smart system*) desenvolvido para uma caldeira empregada em uma empresa papaleira. Obteve-se o histórico de manutenção do ativo, juntamente com seu FMEA e, a partir disso, aplicou-se uma análise RAM, quantificando a disponibilidade em 97,4%, uma confiabilidade de 85% e uma mantenebilidade de 99,75% para 25 horas. Posteriormente, o histórico de falhas e o FMEA foram utilizados como base para a construção do plano de manutenção, utilizando um tempo referência para execução das atividades de 90% do tempo entre falhas (TBF) original e indicando atividades preventivas para eliminar ou diminuir a ocorrência de falhas. Após isso, o plano de manutenção para abastecer um banco de dados em linguagem de consulta estruturada (SQL) e utilizou-se a linguagem Python para automatizar a consulta à essa base. Com essa construção o banco de dados digitaliza e une as informações de histórico de falhas, plano de manutenção e FMEA. Além disso, o processo de consulta ganha agilidade, agregando confiabilidade às ações.

Palavras chaves: Indústria 4.0. Planos de Manutenção. Produtividade. Análise RAM. *Smart System*.

SOARES, Gustavo. **Development of a maintenance policy based on the concepts of Industry 4.0: smart system applied to a boiler in a paper industry.** 2022. 96 pages. Completion of course work to obtain the title of Bachelor in Mechanical Engineering - Federal Technological University of Paraná. Guarapuava, 2022.

ABSTRACT

Adequate industrial maintenance is capable of increasing the safety, availability, quality and lifetime of the equipment, avoiding failures and losses. Industry 4.0 brings with it a digitalization of information and automation of execution processes, being able to unite data that are in different bases and with automation of an increase in reliability, mitigating the occurrence of human error. The boiler in the case study does not have a maintenance policy and its availability directly affects the company's productivity. That said, this work aims to apply Industry 4.0 technologies to structure an efficient maintenance plan supported by a system (Smart system) developed for a boiler used in a paper company. We obtained a RAM analysis from 97.4% and a maintenance history of 97.85% and a maintenance history of 99.75% and a confidence maintenance of 99.75% 25 hours. Subsequently, the failure history and the FMEA were used as a basis for the construction of the maintenance plan, using a reference time for the execution of activities of 90% of the original time between failures (TBF) and indicating activities to eliminate or reduce the occurrence. of preventive failures. After that, the maintenance plan to supply a database in structured query language (SQL) and use the Python language to automate the query to this database. With this construction, the database digitizes information on failure history, maintenance plan and FMEA. In addition, the consultation process gains agility, adding reliability to the actions.

Keywords: Industry 4.0. Maintenance Plans. Productivity. RAM analysis. Intelligent System.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Exemplo de caldeira flamotubular | 26 |
| Figura 2 – Exemplo de caldeira aquatubular | 27 |
| Figura 3 – Esquema de etapas do trabalho | 35 |
| Figura 4 – Fluxo da produção de papel na empresa do estudo de caso | 38 |
| Figura 5 – Subsistemas da caldeira | 39 |
| Figura 6. (a) Balão, (b) Fornalha, (c) Ventilação, (d) Exaustão e (e) Abastecimento de água | 41 |
| Figura 7. Gráfico com a disponibilidade operacional da caldeira | 43 |
| Figura 8. Gráfico com o índice de produção da empresa..... | 44 |
| Figura 9. Modelo de criação genérico de tabelas no MySQL | 47 |
| Figura 10. Organização das tabelas no MySQL..... | 48 |
| Figura 11. Tabela “plano de manutenção” no MySQL..... | 48 |
| Figura 12. Tabela “mecanismo” no MySQL..... | 49 |
| Figura 13. Tabela “falhas” no MySQL. | 50 |
| Figura 14. Tabela “serviços” no MySQL..... | 51 |
| Figura 15. Tabela “operações” no MySQL | 52 |
| Figura 16. Aba configuração PyCharm. | 53 |
| Figura 17. Adicionando drive MySQL ao projeto | 54 |
| Figura 18. Modelo de criação de conexão entre PyCharm e MySQL..... | 55 |
| Figura 19. Modelo de cursor no PyCharm..... | 55 |
| Figura 20. Tela inicial apresentada ao operador | 56 |
| Figura 21. Parte do programa que busca as falhas..... | 57 |
| Figura 22. Programação para busca de operação | 58 |
| Figura 23. Falhas possíveis para a Bomba de água de alimentação da caldeira..... | 62 |
| Figura 24. Operação proposta para falha de código “7” | 63 |
| Figura 25. Exemplo no Smart System para a TAG "141-VAL-002" | 64 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Estudos correlatos | 33 |
| Quadro 2. Relação entre os subsistemas, seus elementos e TAG – Caldeira de Biomassa..... | 40 |
| Quadro 3. Elementos selecionados para realização do trabalho | 45 |
| Quadro 4. Modelo da planilha de análise para confecção do plano de manutenção .. | 46 |
| Quadro 5. Plano de manutenção proposto para os modos de falhas de cada componente..... | 60 |
| Quadro 6. Dados no Excel | 74 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Parte inicial histórico de falhas..... | 42 |
| Tabela 2. Histórico de Falhas (2014 - 2017) | 88 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas e Técnicas |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CPS | Sistemas Ciber-Físicos (do inglês - <i>Cyber-Physical Systems</i>) |
| DDD | Tomada de decisão baseada em dados (do inglês - <i>data-driven decision-making</i>) |
| FMEA | Análise dos Modos de Falha e Efeitos (do inglês - <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>) |
| IIN | Integração Interna |
| IEX | Integração Externa |
| IoT | Internet das coisas (do inglês – <i>Internet of Things</i>) |
| IIOT | Internet industrial das coisas (do inglês – <i>Industrial Internet of Things</i>) |
| MTBF | Tempo médio entre falhas (do inglês – <i>Medium Time Between Failures</i>) |
| MTTR | Tempo médio para reparo (do inglês – <i>Medium Time To Repair</i>) |
| OEE | Eficiência Global do Equipamento (do inglês - <i>Overall Equipment Effectiveness</i>) |
| OS | Ordem de serviço |
| RAM | Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade (do inglês - <i>Realibility, Availability and Maintainability</i>) |
| RCH | Recurso de Capital Humano |
| SQL | Linguagem de Consulta Estruturada (<i>Structured Query Language</i>) |
| TAG | Identificação do elemento |
| TBF | Tempo Entre Falhas (do inglês - <i>Time Between Failures</i>) |
| TTR | Tempo de Reparo (do inglês - <i>Time To Repair</i>) |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. Tema | 15 |
| 1.2. Delimitação do tema | 15 |
| 1.3. Objetivo geral | 16 |
| 1.4. Objetivos específicos | 16 |
| 1.5. Justificativa | 17 |
| 1.6. Estrutura do trabalho | 19 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 20 |
| 2.1. Conceitos De Manutenção Industrial | 20 |
| 2.2. A Indústria 4.0 | 22 |
| 2.3. A gestão de manutenção no advento da Indústria 4.0 | 23 |
| 2.4. Vasos de pressão | 25 |
| 2.5. Análise RAM – Reliability, Availability e Maintainability | 28 |
| 2.6. Aplicação da linguagem de programação na construção de sistemas especialistas | 30 |
| 3. METODOLOGIA DA PESQUISA | 32 |
| 3.1. Classificação da metodologia | 32 |
| 3.2. Trabalhos similares a proposta | 32 |
| 3.3. Etapas de desenvolvimento do trabalho | 35 |
| 4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO | 37 |
| 4.1. Apresentação da empresa | 37 |
| 4.2. Mapeamento do processo produtivo | 38 |
| 4.3. Árvore funcional da caldeira de biomassa | 39 |
| 4.4. Coleta e análise dos dados dos registros de manutenção, fmea e indicadores de desempenho da caldeira | 42 |
| 4.5. Tabulação do banco de dados para análise RAM | 44 |
| 4.6. Aplicação de MySQL para estruturar banco de dados | 47 |
| 4.7. Automação em Python do banco de dados para desenvolvimento do sistema especialista (<i>Smart System</i>) | 53 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 59 |
| 6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS | 65 |
| 6.1. Recomendações para trabalhos futuros | 66 |
| REFERÊNCIAS | 67 |
| APÊNDICE A - PLANILHA COM HISTÓRICO DE FALHAS | 73 |
| ANEXO A - HISTÓRICO DE FALHAS (2014 - 2017) OBTIDO DA MONOGRAFIA “TRATAMENTO DE FALHAS DE UMA CALDEIRA DE BIOMASSA UTILIZANDO A ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS – FMEA: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA” DO AUTOR CORREIA, A. K. (2017) | 87 |

1. INTRODUÇÃO

Com a competitividade global cada vez mais acentuada, a crescente evolução das tecnologias e o aumento da importância de requisitos ambientais e de segurança, as empresas são forçadas a otimizarem as operações e o modo como realizam a manutenção, para que consigam manter preços atrativos e tenham solidez.

Nas últimas décadas, a gestão da manutenção ganhou cada vez mais importância. O desenvolvimento de políticas de manutenção tem como objetivo evitar paradas não programadas, diminuir perdas produtivas, aumentar a segurança e a qualidade produtiva (BORLIDO, 2017).

Conforme Swanson (2003) ao não gerenciar adequadamente a manutenção, a empresa passa a ficar em desvantagem no mercado, pois os ativos industriais tendem a falhar com maior frequência e não conseguem produzir com uma qualidade e com baixo custo. Assim, quando se pratica técnicas adequadas de manutenção, o sistema industrial ganha em disponibilidade, qualidade e tempo de vida útil de seus ativos.

Drath e Horch (2014) citam que na última década, o termo Indústria 4.0 ganhou espaço se referindo à Quarta Revolução Industrial e pode ser entendido como a utilização do conceito genérico de sistemas ciber-físicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*) para sistemas de produção industrial.

Essa revolução industrial está ligada a objetos inteligentes e Internet das coisas, conectando o mundo real ao digital, criando sistemas com capacidade de autodiagnóstico ou até mesmo autogestão em tempo real. Esse autodiagnóstico é permitido graças a interligação entre máquina, sensor, ambiente de trabalho e computador, sendo através dele previstas as ações de manutenção necessárias (LASI et al., 2014; BORLIDO, 2017).

Para Borlido (2017), os grandes desafios para implementação da Indústria 4.0 de maneira adequada estão associados a gestão de dados, soluções de Nuvem (*Cloud*), modelos preditivos a serem usados e na comunicação entre as máquinas interligadas e a nuvem, pois exigem mão de obra especializada e aporte inicial considerável. Mesmo com esses desafios, os benefícios que podem ser obtidos são muito atraentes para as empresas, pois o fato de um pequeno diagnóstico ser capaz

de informar a pessoa correta no momento certo, proporciona uma coordenação de atividades mais eficaz, sendo muito vantajoso para a empresa (BORLIDO, 2017).

Houve uma mudança em nossa sociedade, em que inovações e avanços na tecnologia mudaram nossa dependência da tecnologia. As novas tecnologias estão criando oportunidades para remodelar a indústria manufatureira em direção à manufatura digitalizada e interconectada. A manufatura digitalizada "Indústria 4.0" refere-se à manufatura na qual os mundos físico e virtual estão conectados. Assim os sistemas de produção contam com ciência da computação e tecnologia de fabricação avançada incluindo níveis substancialmente mais altos de automação com sistemas descentralizados trabalhando e agindo de forma autônoma (LUNDGREN; BOKRANTZ & SKOOGH,2021).

Ou seja, com a Indústria 4.0, tudo que está presente em uma indústria e em seu modelo operacional pode ser conectado digitalmente. Ao conectar máquinas, sistemas e pessoas ao longo de toda a cadeia produtiva, a Indústria 4.0 permite que decisões sejam tomadas de forma autônoma, o que aumenta a capacidade das empresas de prever falhas, agendar manutenções e se adaptarem a mudanças não planejadas.

Na manutenção, a Indústria 4.0 fornece diversas ferramentas para coleta de dados, armazenamento, processamento e compartilhamento. Esses instrumentos têm a capacidade de agilizar a identificação de problemas, notificar o departamento responsável e auxiliar na definição de ações corretivas. Dentre as principais ferramentas, podem ser citadas a internet industrial das coisas (IIOT), a nuvem (*Cloud*), análise de Big Data, gerenciamento remoto, entre outras. (BORLIDO, 2017).

O objetivo da digitalização da manutenção na indústria 4.0 é tomar decisões cada vez mais assertivas em tempo real por meio dos dados obtidos em Big Data e Cloud Computing, oriundos do sensoriamento inteligente do maquinário, possibilitado pela Internet das coisas (IoT). A aplicação de tecnologias computacionais, Inteligência artificial, modelagem matemática para tomada de decisão na manutenção visa automatizar e dar robustez aos processos de gestão e decisão nas tarefas de manutenção dos ativos.

Um plano de manutenção bem estruturado e eficaz é capaz de acarretar uma otimização do ciclo de vida dos ativos, uma maximização de disponibilidade e de confiabilidade do equipamento e da planta. Conseqüentemente, há uma diminuição

de perdas, custos, intervenções, atrasos, acidentes e uma maior contribuição para os objetivos da empresa. Sendo possível medir o sucesso da manutenção pela sua discricção (VELMURUGAN; DHINGRA, 2015; BORLIDO, 2017).

O ativo utilizado como base para o estudo de caso não possui um plano de manutenção e sua disponibilidade afeta diretamente a produtividade da empresa. Para tanto, este trabalho visa construir um sistema inteligente (*Smart System*) para unificar bases de dados de registros de manutenção corretiva e FMEA do ativo, e assim construir um plano de manutenção eficiente que reflita a realidade das condições operacionais do equipamento.

Os dados de aplicação deste trabalho foram retirados do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno Anderson Kchecinski intitulado “Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando a análise de modo e efeito de falhas – FMEA: estudo de caso em uma indústria papeleira”. Este trabalho está disponível no acervo da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Guarapuava). O trabalho do aluno egresso da UTFPR Anderson K. Correia também foi publicado no VIII ConBRepro – Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa-PR, 2018 sob o título “Aplicação de um método integrado com técnicas AHP e Fuzzy SAW para ordenação dos riscos de modos e efeitos de falhas: estudo de caso em uma indústria de papel e celulose”.

O *Smart system* desenvolvido pretende suportar a decisão de gestores de manutenção na construção de planos de manutenção eficientes baseados na confiabilidade, além de automatizar o processo de consulta às políticas de manutenção, visando maior confiabilidade e disponibilidade dos ativos industriais.

1.1. Tema

Estruturação de uma política de manutenção adequada para um ativo industrial, apoiada por desenvolvimento de sistema especialista.

1.2. Delimitação do tema

Construção de plano de manutenção eficiente para o modelo de caldeira HBFS-15, fabricada em novembro de 2000, com gerador de vapor “flamo tubular” com pressão máxima de trabalho de 10 kgf/cm² e capacidade produtiva de 15000 Kg/h de vapor saturado à 185 °C, sendo enquadrada na categoria “B” conforme NR-13. Isso atrelado a um banco de dados através da linguagem de consulta estruturada (SQL) para abastecimento das informações e um programa em Python para uma consulta automatizada.

1.3. Objetivo geral

Realizar uma análise RAM em dados de uma caldeira apoiada com tecnologias da Indústria 4.0 (desenvolvimento de *Smart System*), para elaboração de um plano de manutenção de maneira ágil e com consulta automatizada.

1.4. Objetivos específicos

- ✓ Revisar a literatura acerca do tema manutenção industrial e suas funções na indústria 4.0;
- ✓ Analisar os registros de manutenção e FMEA (Análise dos Modos de Falha e Efeitos, do inglês - *Failure Mode and Effects Analysis*) do ativo industrial do estudo de caso;
- ✓ Aplicar análise RAM para determinar o tempo de referência de execução das tarefas preventivas propostas no plano de manutenção
- ✓ Construção de um *Smart System* para automatizar (processo de digitalização da manutenção indústria na era industrial 4.0) a construção dos planos preventivos;
- ✓ Aplicar SQL e programação em Python para desenvolvimento do sistema especialista;
- ✓ Discutir sobre possíveis melhorias obtidas nas atividades de manutenção com o plano de manutenção mais consistente;

1.5. Justificativa

A caldeira que será utilizada para estudo de caso é totalmente responsável pela execução adequada do processo de secagem, qualquer interrupção em seu funcionamento afeta toda a produção. O fato de operar durante todos os turnos da empresa sem uma manutenção preventiva e preditiva recorrente, intensifica a ocorrência de falhas. À vista disso, a criação de um plano de manutenção robusto e assertivo é vital para o bom funcionamento de toda a planta.

Falhas em equipamentos, produtos sem qualidade, atrasos na produção e emergências podem ser causados por imprevistos em uma empresa. Sem contar que resultam em perdas financeiras significativas para a companhia (AL-DOURI et al., 2020). Porém, a prática de um plano de manutenção pode minimizar inconvenientes, reduzindo as perdas durante a produção, como produtos defeituosos e excesso no tempo de operação (CHOUDHARY; TRIPATHI; SHANKAR, 2019).

Para Velmurugan e Dhingra (2015), um plano de manutenção eficiente é essencial para obtenção de máxima disponibilidade, eficiência e qualidade do produto, assim como a conservação e segurança do sistema. Com essa prática é possível manter a planta industrial de acordo com o que o mercado exige: com alta qualidade e baixo custo (SWANSON, 2003).

É justificável o uso da análise RAM, pois ela auxilia na definição do melhor método que viabiliza a quantificação de efetividade e falhas no processo de manutenção, perfazendo a redução de custos. A análise RAM e suas ferramentas pretendem entender o comportamento de falhas nos componentes para planejar e adaptar o modo como deve ser feita a manutenção para que os benefícios possam ser atingidos (SHARMA; SHARMA, 2012).

Tsarouhas (2021) aplicou análise RAM em uma produção de queijo cheddar para determinar uma estratégia adequada de manutenção e também em 2020, elaborou um estudo com esta ferramenta visando estruturar uma política eficiente de manutenção para uma indústria de sorvete.

Amini et al. (2015) executa a análise RAM para determinar parâmetros como confiabilidade e disponibilidade do sistema em questão, sendo possível encontrar onde estão os pontos críticos que merecem melhora na manutenção. No trabalho de Patil et al. (2021) também há a aplicação de análise RAM para identificar pontos

críticos considerando disponibilidade e confiabilidade, confeccionando um plano de manutenção. E, por fim, Torres Jr et al. (2005) utiliza o histórico com dados dos últimos cinco anos de manutenção de um equipamento para prever falhas através de redes neurais artificiais e auxiliar em técnicas preditivas para aumentar a carga horária disponível do maquinário.

Em relação ao uso da Linguagem de Consulta Estruturada (*Structured Query Language* - SQL), Mukaddes (2010) emprega essa ferramenta buscando criar um cronograma automático de manutenção preventiva para empresas de Bangladesh a fim de mitigar as desvantagens existentes na gestão da manutenção. Já Wan (2017) usa como apoio o MySQL para facilitar a análise dos dados, com a intenção de fazer um plano de manutenção preventivo automatizado e assertivo. Barbosa (2015), utiliza esse instrumento para criação de um software que agiliza e facilita a emissão de ordens e preenchimento de relatórios de manutenção de uma empresa. Já Toni (2022), por sua vez, também empregando o MySQL, propõe uma ferramenta que visa auxiliar na tomada de decisões assertivas durante o desenvolvimento de um plano de manutenção preventivo aplicado para um hidrogenador do modelo Francis.

Para automatizar o processo será utilizado o Python por ser uma plataforma aberta e dinâmica, capaz de desenvolver códigos de maneira rápida. Adonis et al. (2019) faz uso do Python para implementar um modelo multicritério associado à um mecanismo de *Machine Learning* para aprimorar as tomadas de decisão em manutenção industrial. Já Pedro et al. (2021) cria um protótipo baseado em conceitos da Indústria 4.0 para coleta de dados e aplica um programa em Python para monitorar as informações de um motor trifásico em tempo real.

Dessa maneira, os trabalhos presentes na literatura mostram a eficácia da análise RAM e da ferramenta SQL para melhorar a gestão da produtividade, confiabilidade de processos industriais e geração de planos de manutenção assertivos. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver um plano de manutenção através de análise RAM, suportada pela digitalização do processo por meio de um sistema especialista (*Smart System*) desenvolvido em Python para uma caldeira industrial, agregando tecnologias da indústria 4.0 para automação e consistência das ações de manutenção.

1.6. Estrutura do trabalho

Este Trabalho de conclusão de Curso (TCC) está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1: Composto por introdução, tema do trabalho, objetivo geral e específico, justificativa e estrutura do trabalho;

Capítulo 2: Constituído de um referencial teórico detalhado, utilizado como base para o trabalho, o qual apresenta conceitos de manutenção na indústria 4.0, análise RAM e utilização do MySQL para criação de plano de manutenção;

Capítulo 3: Contempla a classificação e o procedimento da metodologia que será executada para o desenvolvimento do trabalho;

Capítulo 4: Expõe o desenvolvimento do sistema especialista, análise dos dados para aplicação da análise RAM (tempo referência de execução das tarefas) e a aplicação estudo de caso em um vaso de pressão instalado em uma empresa papeleira;

Capítulo 5: Exibe uma análise sobre os resultados obtidos e discussão sobre o trabalho;

Capítulo 6: Descreve as conclusões da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Apresentação dos conceitos necessários para desenvolvimento deste trabalho, tais como: classificação da manutenção, manutenção no advento da indústria 4.0, caldeiras, análise RAM, o uso do MySQL e Python para automação de processos de gestão na manutenção.

2.1. Conceitos De Manutenção Industrial

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a norma NBR 5462 (1994) traz como definição da palavra manutenção:

“Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).”

Para melhor compreensão do assunto, é preciso definir termos que são utilizados quando se trata de manutenção. São eles: item, função requerida, defeito, falha, pane, produtividade, disponibilidade, confiabilidade e eficiência. Item é uma parte do sistema considerado individualmente. Função requerida são os requisitos necessários para realizar um serviço. Defeito é quando há alteração na característica de um item, mas sem comprometer seu funcionamento. Falha é um evento em que um item não consegue exercer a função requerida. E pane é um estado na qual o item não é capaz de realizar a função requerida, geralmente acontece após a falha (ABNT NBR5462, 1994).

Gregório e Silveira (2018) citam que a produtividade pode ser entendida como o período em que realmente acontece a produção, tempo em que o funcionário produz efetivamente. Esse valor é importante pois quanto maior for, significa que mais eficiente está sendo o planejamento de manutenção.

Prosseguindo, disponibilidade é quando um item está apto para uma determinada função. Confiabilidade é a capacidade de um item executar satisfatoriamente, com condições definidas, uma função durante um período, comprovando o quão confiável é. E por fim, eficiência compreende-se como o poder

de um equipamento realizar uma tarefa de modo efetivo, minimizando o desperdício (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018).

Definir o tipo de manutenção mais adequado requer tempo e estudo, identificando os equipamentos cruciais para a produção, os custos envolvidos para manutenção e gerenciando o espaço físico, quando necessário. (ASSIS et al., 2015) Os principais tipos de manutenção são: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018).

Para Gregório e Silveira (2018), a manutenção corretiva é a que acontece após uma pane, quando o equipamento é utilizado até a exaustão. Já Kardec e Nascif (2009) classificam como a manutenção que acontece após a falha interromper o processo. Sendo assim, pode ser entendida como o conjunto de ações que visam atender imediatamente a produção, buscando a disponibilidade da máquina (ALMEIDA, 2015).

Gregório e Silveira (2018) separam a manutenção corretiva em programada e não programada. A programada é quando há um defeito que não tenha gerado falha, apenas um desempenho inferior. Já a não programada é quando ocorre a falha e/ou pane, impossibilitando o uso.

Para Almeida (2015) manutenção preventiva tem como objetivo evitar paradas não previstas, prevenindo que defeitos causem falhas ou pane. Kardec e Nascif (2009) qualificam como a manutenção que antecipa e evita o surgimento da falha. Esse tipo de manutenção, conforme Gregório e Silveira (2018), age de maneira a diminuir a chance de que danos maiores ocorram na máquina por meio de análises dos registros de manutenção anteriores, facilitando a visualização das principais causas de falhas e motivos que podem gerar a redução da vida útil de peças fundamentais para o equipamento. Sendo capaz de evitar a necessidade de manutenção corretiva e amenizar o custo envolvido (MOBLEY; MBB, 2014).

Manutenção preditiva é descrita por Gregório e Silveira (2015) como um acompanhamento frequente da máquina, na qual a intenção é encontrar falhas ocultas e que ainda não se manifestaram. Já para Kardec e Nascif (2009), nesse tipo de manutenção são monitoradas informações do equipamento que servem como indicadores de falhas e como parâmetro para ações de intervenção, permitindo uma preparação prévia. Para isso, são utilizadas técnicas que avaliam as condições de

operação do equipamento, da produção e gestão da planta, buscando otimizar todas as operações (MOBLEY; MBB, 2014).

2.2. A Indústria 4.0

A Indústria 4.0 proporciona uma capacidade de operação em tempo real, obtendo informações, registrando e tratando-as de forma imediata. Dentre os principais benefícios que podem ser alcançados com seu uso estão: redução de custos, aumento da segurança, redução de erros, fim do desperdício, conservação ambiental e maior transparência nos negócios (BORLIDO, 2017).

Existem sete pilares que vão formar a Indústria 4.0, sendo eles:

- *Internet of things*

A Internet das coisas permite a comunicação *machine-to-machine* sem a necessidade de intervenção humana, com isso os aparelhos estão conectados e trocando informações para uma melhor eficiência e segurança industrial.

- *Cloud*

A Nuvem é uma ferramenta que propicia de maneira ágil o armazenamento e o compartilhamento de informações através de servidores online, sem a necessidade de investimentos em discos e facilitando o acesso por diferentes dispositivos.

- *Big Data Analytics*

Visando o auxílio na tomada de decisão, o *Big Data* reúne um conjunto de informações de maneira dinâmica, como análise de mercado e correlações desconhecidas que vão ajudar a implementar a melhor decisão na hora certa.

- *Robotics e 3D Printing*

A utilização de robôs para execução de processos aumenta a confiabilidade e a qualidade obtida, sem contar na diminuição da necessidade de mão de obra humana e uma melhor produtividade. Já a impressão 3D facilita a confecção de superfícies ou desenhos complexos, sendo aplicada em uma grande gama de produtos e reduzindo o desperdício. Entretanto, seu alto custo para produção em massa ainda é uma barreira para implementação.

- *Digital Fabrication*

É a integração entre ferramentas de modelagem virtual, com programas de assistência para produção e máquinas inteligentes. Dessa maneira, um produto pode ser desenvolvido no computador em 3D com realização de análises numéricas, simulação de produção, geração de um G-CODE (código utilizado em máquinas com controle numérico por computador - CNC) que pode ser implementado em uma máquina inteligente que irá executar a produção.

- *Remote Management*

É o gerenciamento remoto, na qual é possível os administradores controlar as ações e operações sem a necessidade de estarem presentes.

- *Production Monitoring*

O monitoramento da produção é algo extremamente importante e com a Indústria 4.0 isso pode ser efetuado de maneira contínua devido a todas as ferramentas que são disponibilizadas.

2.3. A gestão de manutenção no advento da Indústria 4.0

A correta execução da manutenção é essencial para obtenção de máxima disponibilidade, eficiência e qualidade do processo. Dessa maneira, a gestão da manutenção tem como objetivo encontrar um ponto de equilíbrio entre investimento e tarefas na qual se apresentem os melhores resultados (GONÇALVES, 2020).

A Indústria 4.0 tem gerado diversas modificações no modo como as ações são executadas nas empresas e como são monitorados os processos. Agora, câmeras 3D, sensores, identificadores de rádio frequência e outros dispositivos integrados são utilizados para monitorar e identificar qualquer desvio ou defeito que ocorra, tudo isso informado através de dados que requerem recursos e técnicas avançadas para sua análise (SADER; HUSTI; DARÓCZI, 2020).

Vieira et al (2018) afirma que a Indústria 4.0 proporciona uma manufatura de nível inteligente e uma comunicação entre diversas etapas do processo, sendo capaz de compreender as informações e inseri-las durante o processo, tornando-os flexíveis.

Todos os dados coletados são armazenados e podem ser analisados em tempo real, verificando o fluxo de materiais, volume de produção, a eficiência e entre outros. Essas informações somadas aos registros de intervenção, que também são armazenados pela mesma nuvem, geram um histórico vasto de material que é vital para determinação do melhor método de manutenção (GONÇALVES, 2020).

Dentre as principais transformações, podem ser citadas a utilização de *Big Data* que irá produzir os dados de diferentes formas, análise de dados que irá auxiliar na tomada de decisão conforme as informações obtidas, o uso de simulações para prever o comportamento através dos dados reais, IOT que conecta equipamentos e apoia a extração de informações em tempo real, Nuvem para melhor compartilhamento entre departamentos e empresas, e realidade aumentada para ajudar na tomada de decisões e desenvolvimento de novos procedimentos (PEREIRA, 2018).

Conforme Santos et al (2019), todas essas ferramentas da Indústria 4.0 ao automatizarem algumas ações evitam que falhas humanas ocorram. Além disso, ao contar com sistemas que combinam *Big Data*, Nuvem e os sistemas ciber-físicos, assim que uma falha for detectada, o equipamento será capaz de fornecer o diagnóstico, indicar a ação necessária e adaptar o regime de trabalho para não agravar o problema antes que a correção ocorra.

Com esses instrumentos atuando, a elaboração do plano de manutenção se torna mais fácil para a empresa. A Indústria 4.0 possibilita que as pessoas adequadas recebam informações precisas no momento correto. Assim, os diagnósticos são os mais assertivos possíveis e proporcionam a execução da ação necessária para aumentar a disponibilidade do maquinário e a eficiência do processo, sendo muito mais vantajoso e benéfico (BORLIDO, 2017).

Essa integração recebe o nome de manutenção inteligente (*smart maintenance*) e pode ser definida como um projeto organizacional que utiliza tecnologias digitais difundidas para gerenciar a manutenção de plantas industriais. A manutenção inteligente é baseada em quatro pilares: *data-driven decision-making* (DDD), recurso de capital humano (RCH), integração interna (IIN) e integração externa (IEX). O primeiro, DDD, se refere ao fato de que as decisões são tomadas baseadas em análise de dados com qualidade. O segundo, RCH, está ligado ao conhecimento e habilidade individual, além de outras características que são importantes para o

desempenho da empresa. O terceiro, IIN, alude ao modo como a manutenção está integrada e sincronizada ao resto da empresa. Por fim, a IEX descreve a maneira como a manutenção está unificada entre todas as unidades da companhia (LUNDGREN; BOKRANTZ; SKOOGH, 2021).

Sellmer et al. (2013), define sistema especialista como uma classe de sistema de Inteligência Artificial que realiza funções similares às exercidas por um ser humano especialista, conseguindo reproduzir o conhecimento ou a perícia humana. Com isso, ao criar um sistema especialista para gerenciar as informações de manutenção haverá ganho no tempo de análise e agilidade para execução da função. Visando a confecção desse modelo de sistema, é vital que todos os dados disponíveis sejam digitalizados para uma melhor análise.

Para acompanhar o desempenho dos equipamentos, existem indicadores que são calculados através dos dados coletados e que representam diversos resultados da atividade, como disponibilidade, eficiência, tempo de paragem, confiabilidade, entre vários outros. Esses indicadores visam quantificar os indicadores de performance para que possam ser analisados, de modo que ações de manutenção sejam planejadas com intuito de maximizar o desempenho do equipamento. Ao maximizar o desempenho do equipamento, é otimizada a utilização dos recursos, diminuindo o desperdício e reduzindo os custos envolvidos (GONÇALVES, 2020).

Dito isso, a Indústria 4.0 pretende não só agilizar toda a parte de coleta de dados, que é feita automaticamente, como também sua análise e direcionamento de tarefas, dessa maneira, restringindo erros decorrentes de falha humana. A clareza e a disponibilidade das informações são tamanhas que Borlido (2017) cita que a necessidade de o técnico ir até a empresa avaliar o problema será suprimida, possibilitando uma manutenção remota, na qual o diagnóstico acontece rapidamente e ações são deliberadas diretamente aos encarregados, pois a comunicação será facilitada já que tudo está conectado.

2.4. Vasos de pressão

As caldeiras a vapor geram energia para os processos produtivos através da produção e acumulação de vapor em altas pressões nos vasos de pressões. Pode-se

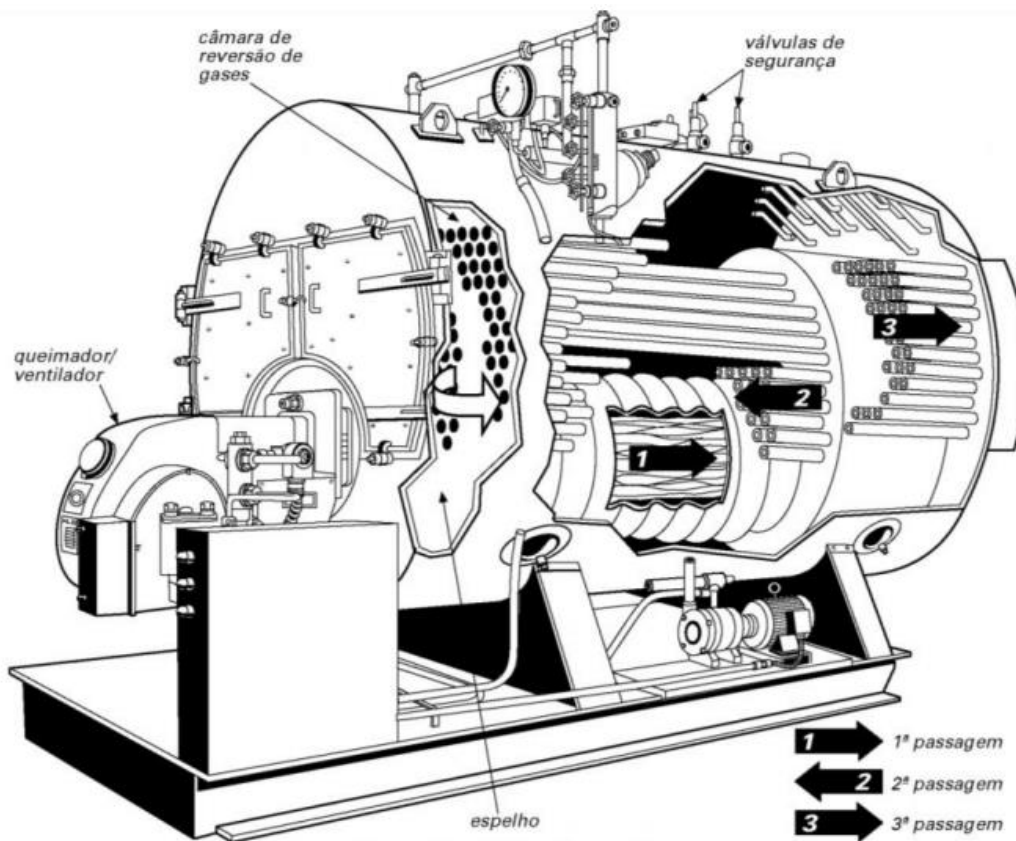
definir vaso de pressão todo equipamento com fluido acima da pressão atmosférica. (NR13 – CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO, 2019)

A geração de vapor se dá pela troca térmica entre o combustível queimado e a água que passa dentro da caldeira, ocasionando o aquecimento e ebulição da água. O vapor é então conduzido por tubos, propiciando acionamento de máquinas, aquecimento ou geração de potência. (ALBERICHI, SETA 2013; JOROSKI, DOS ANJOS, 2015).

Existem três tipos de caldeiras, as aquatubulares, as flamotubulares e as mistas, de acordo com Fernandes (2021). As flamotubulares são caracterizadas por possuírem tubos transportadores de gases da combustão envoltos por água. Por sua vez, as aquatubulares têm os tubos preenchidos por água e o entorno possui os gases da combustão. E por fim, as mistas englobam os dois sistemas.

As caldeiras flamotubulares operam em pressões abaixo de 20 bar e geram vapor saturado, por isso são as mais utilizadas. A Figura 1 apresenta uma caldeira flamotubular.

Figura 1 – Exemplo de caldeira flamotubular



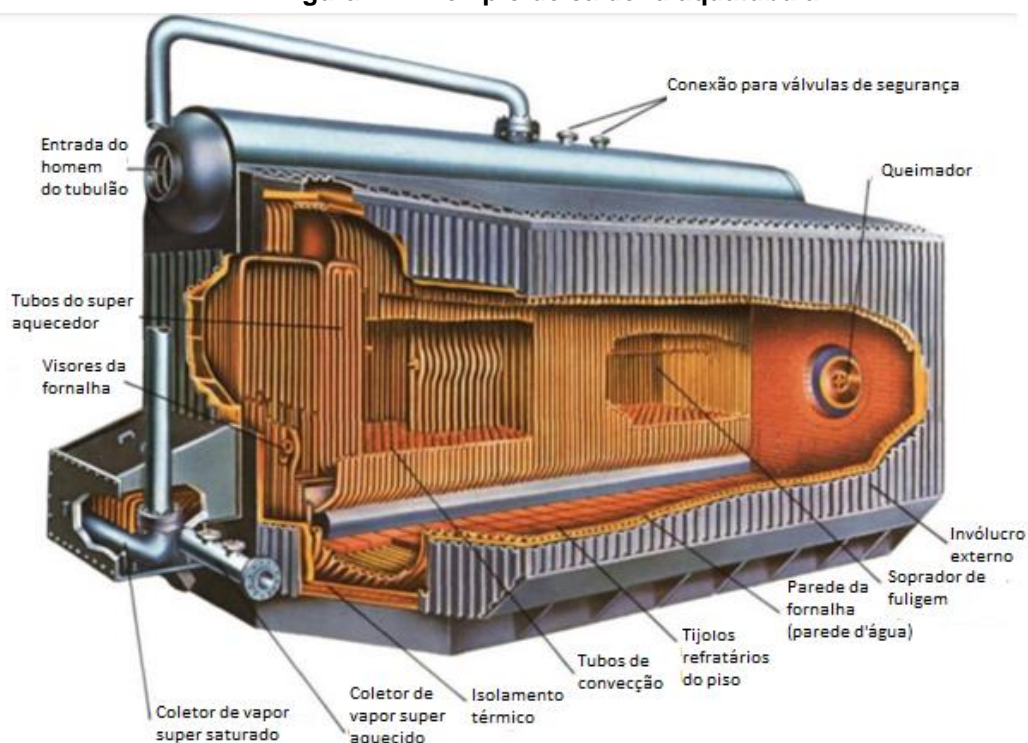
Fonte: FERNANDES (2021)

Já as caldeiras aquatubulares trabalham em pressões elevadas de até 160 bar e geram vapor superaquecido, sendo de grande uso para geração de energia elétrica. Conforme o item 13.4.1.2 da NR13 é possível dividir as caldeiras em duas categorias que variam em relação às pressões de trabalho

1. Categoria A: igual ou acima de 1960 kPa, com volume superior a 100 litros;
2. Categoria B: superior a 60 kPa e inferior a 1960 kPa, volume interno superior a 100 litros e o produto entre pressão de operação (kPa) e volume interno (m^3) seja maior que seis;

. A Figura 2 representa uma caldeira aquatubular.

Figura 2 – Exemplo de caldeira aquatubular



Fonte: Adaptado de FERNANDES (2021)

Já as caldeiras mistas misturam o processo de combustão de caldeiras flamotubulares com as paredes de tubo de água das aquatubulares e utilizam combustíveis sólidos. (LUFT, 2017)

Ainda segundo a NR13, é imprescindível que toda caldeira possua seu manual de operação em local de fácil acesso a seus operadores e que contenham

informações sobre os procedimentos de partida, parâmetros de operacionais de rotina, situações de emergência, paradas, saúde e preservação ao meio ambiente.

Buscando garantir o funcionamento da caldeira e de seus sistemas, a NR13 regulamenta que todos os instrumentos sejam calibrados e estejam em aptas condições de operação. Ademais, a manutenção preventiva ou preditiva em todo o controle de segurança somado as inspeções de segurança inicial são vitais para garantia da integridade física dos funcionários e ativos da empresa.

O modelo a ser utilizado neste trabalho é o HBFS-15, fabricado em novembro de 2000, pertencente ao tipo flamotubular e de categoria B de acordo com a NR13 por trabalhar à 10 kgf/cm² ou, aproximadamente, 980 kPa.

2.5. Análise RAM – Reliability, Availability e Maintainability

A tomada de decisão de manutenção é uma atividade complexa que contém diversas variáveis, tais como tipos de tecnologias envolvidas, critérios de manutenção e disponibilidade (KUMAR et al., 2013).

A análise RAM (Confiabilidade, Disponibilidade e Mantenabilidade) é um método que planeja as ações que devem ser tomadas baseadas em dados como tempo entre falhas (TBF) e tempo de reparo (TTR), visando aumentar a disponibilidade e a eficiência dos sistemas, gerenciando melhor os custos (AMINI KHOSHALAN et al., 2015).

Tsarouhas (2018) define TBF como o tempo decorrido entre a hora que o equipamento foi acionado depois de uma falha até o momento que seu funcionamento é interrompido devido a outra falha. Já o TTR é o tempo que o equipamento fica em estado de falha até ser acionado novamente. Com isso, podemos definir a média de tempo entre falhas (MTBF) e a média de tempo para reparo (MTTR) como mostradas nas equações 1 e 2:

$$MTBF = \frac{\Sigma TBF}{Quantidade\ de\ intervalos} \quad (Eq. 1)$$

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{Quantidade\ de\ intervenções} \quad (Eq. 2)$$

Disso, também conforme Tsarouhas (2018), é possível obter a disponibilidade (AV) através do MTBF e MTTR, conforme equação 3

$$AV = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Gregório e Silveira (2015) apontam que a confiabilidade (R(t)) que depende do tempo, pode ser obtida através da equação 4 desde que a taxa de falha (λ) seja constante.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad e \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{Eq. 4})$$

Com isso, pode-se determinar um período t para estimar uma projeção do cálculo de confiabilidade. E por último, também segundo Gregório e Silveira (2015), a manutenibilidade (M(t)) é quantificada pelas equações 5 e 6, do mesmo modo que a taxa de reparo (μ) também deve ser constante:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{Eq.5})$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{Eq.6})$$

Analogamente à confiabilidade, é necessário escolher a quantidade de tempo para se presumir a manutenibilidade do equipamento.

Um ponto principal para criação de uma política de manutenção robusta e efetiva, conforme Heredia-Zavoni et al (2004), é a utilização do histórico de confiabilidade do equipamento. Entretanto, a falta de dados quantitativos é, geralmente, o principal problema para aplicação da análise de confiabilidade (YAZDI; SOLTANALI, 2019).

Dito isso, a primeira coisa a se fazer para realizar uma análise é reunir todos os dados de falhas existentes em um banco de dados, como registros de manutenção. Quanto maior a quantidade de dados e quanto mais precisos, melhor será a confiabilidade do estudo e a efetividade do plano de manutenção gerado (PATIL; BEWOOR, 2020).

Além de auxiliar no aumento da eficiência e da segurança do equipamento e do processo, a análise RAM é capaz de manter um banco de dados real e atualizado da máquina em questão (TSAROUHAS, 2019).

Tsarouhas (2020) aplica a análise RAM para determinar o intervalo para manutenção preventiva de cada equipamento e para o sistema completo utilizando diferentes confiabilidades, apontando os equipamentos com menores índices de confiabilidade e menor manutenibilidade para auxiliar a tomada de decisão de estratégias que melhorem os índices de performance das máquinas. Em outro trabalho, Panchal et al. (2019) propõe um modelo de hibridização após uma análise RAM que verificou os indicadores de desempenho de uma instalação de processo químico.

Saini e Kummar (2019) aplicaram a análise RAM para detectar o mecanismo mais propenso a evaporação em uma fábrica de açúcar e Tsarouhas (2021) determina uma estratégia adequada de manutenção em uma produção de queijo cheddar através da metodologia RAM.

No trabalho de Tsarouhas (2018) o método é aplicado para melhorias na linha de produção de embalagem de vinho. E visando pontuar os pontos críticos que merecem melhora na manutenção e Amini et al. (2015) executa a análise RAM para encontrar parâmetros como confiabilidade e disponibilidade do sistema em questão.

Logo, neste trabalho a análise RAM fica aplicada aos dados presentes no histórico de manutenção de um vaso de pressão visando obter um tempo de referência de execução das atividades preventivas prescritas no plano de manutenção, a fim de executá-las antes que as falhas ocorram.

2.6. Aplicação da linguagem de programação na construção de sistemas especialistas

Conforme Elmasri (2005), banco de dados pode ser entendido como uma coleção de dados relacionados, porém essas informações são derivadas de uma fonte refletindo eventos do mundo real e são direcionadas para atender um objetivo específico. Essa ferramenta é de extrema importância para a integração de sistemas, pois pode conter todas as informações de um ou mais processos e através de análises é possível entender quais são as tendências (MARCIANO et al., 2019).

Uma das maneiras de se construir o banco de dados é por meio da Linguagem de Consulta Estruturada (SQL) somada ao MySQL, que é um gerenciador de banco de dados. Mukaddes (2010) cita que a operação do MySQL visa criar um software que automatize o cronograma de manutenção preventiva usando dados coletados de diversas empresas de Bangladesh através de questionários.

Também Barbosa (2015) utiliza esse instrumento para complementar as informações necessárias para criação de um software que atua no setor de manutenção da empresa sendo direcionado para emissão de ordens e preenchimento de relatórios, facilitando e agilizando o processo.

Já Toni (2022), por sua vez, também empregando o MySQL, propõe uma ferramenta que visa auxiliar na tomada de decisões assertivas durante o desenvolvimento de um plano de manutenção preventivo aplicado para um hidrogerador do modelo Francis.

Wan (2017) coleta e analisa dados, tendo como apoio o MySQL para facilitar o monitoramento, com o intuito de produzir um plano de manutenção preventivo automatizado e assertivo, comparando os resultados obtidos com índices de métodos tradicionais de estimação para manutenção, comprovando a superioridade em seu trabalho.

Dessa maneira, o uso do MySQL é de grande utilidade no gerenciamento de banco dados, sendo esse banco gerado através de um histórico de falhas sólido para produção de um plano de manutenção preventivo robusto e assertivo, acarretando benefícios para a empresa.

Por sua vez, Python é uma linguagem de programação aberta administrada por uma instituição sem fins lucrativos e é muito aplicada por possuir uma estrutura ágil e dinâmica, propiciando um rápido desenvolvimento de códigos (ADONIS; ROCHA, 2019). Além do mais, Pedro et al. (2021) destaca que é uma linguagem de alto nível, com fácil aprendizagem, orientada à objetos e versátil, sendo atrativa para o emprego no tema proposto.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste tópico serão abordados a classificação da metodologia aplicada, os fluxogramas das etapas do trabalho, trabalhos correlacionados e o cronograma de desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso.

3.1. Classificação da metodologia

Uma pesquisa pode ser classificada de acordo com alguns critérios, sendo eles: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos técnicos. Este trabalho em relação à abordagem, ou seja, o modo escolhido para explicar os fenômenos estudados e autenticidade dos dados, é quantitativa devido ao fato de alcançar conclusões através de métodos estatísticos (MATIAS-PEREIRA, 2016).

Sobre a natureza da pesquisa, pode-se afirmar que ela é aplicada, pois visa gerar conhecimento para resolução de problemas reais utilizando procedimentos científicos (LAKATOS et al, 2021).

Quanto aos objetivos, é adequado classificar em pesquisa descritiva em razão de se tentar descrever um fenômeno através da análise, classificação e interpretação de dados (LOZADA; NUNES, 2018).

Já a respeito dos procedimentos técnicos, classifica-se em estudo de caso, em virtude de analisar os dados obtidos empiricamente de uma caldeira de uma empresa e, por isso, também se enquadra em pesquisa documental já que os dados não passaram por tratamento anterior. Isso somado a uma pesquisa bibliográfica ampla sobre o tema proposto (MATIAS-PEREIRA, 2016).

Por fim, perante a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), essa pesquisa se enquadra na área de Engenharia III, no campo de Gerência de Produção, com código 30801001 (CAPES, 2021).

3.2. Trabalhos similares a proposta

Este tópico apresenta, no quadro 2, um comparativo entre estudos correlatos com a pesquisa desenvolvida neste Trabalho de Conclusão de Curso.

Quadro 1 – Estudos correlatos

| Autor(es) | Aplicação | Identificação do Sistema Industrial | | | | Variáveis analisadas para Tratamento de Falhas | | | | | Política de Manutenção - Desenvolvimento | | |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|----------------|-----------------------|--|-----------------------------|-----|-----|---------------------|--|-------|-------------|
| | | Mapeamento e Descrição do Processo | Pesquisa Documental | Estudo de Caso | Levantamento de dados | Disponibilidade e Confiabilidade | Histórico de Reivindicações | TBF | TTR | Histórico de Falhas | FMEA | FMECA | Análise RAM |
| AMINI KHOSHALAN et al. (2015) | Construção Civil (perfuradores de túnel) | X | X | X | X | X | - | X | X | X | - | - | X |
| CHOUHARY et al. (2019) | Indústria de Cimento | X | X | X | X | X | - | X | X | X | - | - | X |
| CORREIA A. et al. (2017) | Indústria Papeleira | X | X | X | X | - | - | X | X | X | X | - | - |
| SADER et al. (2019) | Indústria de Máquinas Agrícolas | - | X | X | - | - | X | - | - | - | X | - | - |
| TSAROUHAS (2021) | Indústria Alimentícia | X | X | X | X | X | - | X | X | X | - | - | X |
| TSAROUHAS (2020) | Indústria Alimentícia | X | X | X | X | X | - | X | X | X | - | - | X |
| TSAROUHAS (2018) | Indústria de Embalagem | X | X | X | X | X | - | X | X | X | - | - | X |
| TONI et al. (2022) | Usina Hidrogeradora | X | X | X | X | X | - | - | - | X | - | X | - |
| Soares & Bellinello (2022) | Indústria Papeleira | X | X | X | - | X | - | X | X | X | X | - | X |

Fonte: Autoria Própria (2022)

Para construção deste trabalho foi realizada uma análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (*RAM – Reliability, Availability and Maintainability Analysis*) de uma base de dados de registros de manutenção de um vaso de pressão atuando no sistema industrial de uma indústria papeleira.

“A análise RAM é capaz de avaliar a performance do equipamento em diferentes estágios do processo, pontuando as áreas do sistema ou de operação na qual as ações de melhorias podem ser iniciadas. E aplicar uma ferramenta advinda da indústria 4.0 é necessário para o processamento correto das informações disponíveis sobre o maquinário e buscar estimar os períodos de manutenção, coordenando a confecção do plano de manutenção (TSAROUHAS, 2021)”.

Em trabalhos que visam aplicar uma metodologia RAM, dados como TBF e TTR são essenciais e os mais utilizados. Amini Khoshalan et al. (2015) utiliza TBFs e TTRs coletados durante o período de 26 meses, demonstrando através de análise RAM qual sistema possui maior prioridade.

Choudhary et al. (2019) manipula TBFs e TTRs para realizar a análise RAM de uma planta industrial que produz cimento, com intuito de melhorar a disponibilidade e a capacidade de utilização dos ativos.

Já Tsarouhas (2018) também lida com TBFs e TTRs, porém obtidos em oito meses de operação e utiliza a análise RAM para propor o melhor intervalo de manutenção e auxiliar na composição da estratégia de manutenção adequada.

Em Tsarouhas (2021), os mesmos tipos de dados são empregados, entretanto coletados por 32 meses. E, por fim, Tsarouhas (2020) dispõe de TBFs e TTRs apurados em 12 meses.

Correia et al. (2017) tem como base um histórico de falhas robusto de uma caldeira para propor melhorias para os ativos críticos através de FMEA. Sader et al. (2019) também tem como proposta a confecção de uma FMEA, mas opera com o histórico de reclamações de um equipamento agrícola. Por outro lado, Toni et al. (2022) aplica o MySQL para servir de apoio durante o desenvolvimento de um plano de manutenção preventivo para hidrogeradores visando o FMECA como resultado.

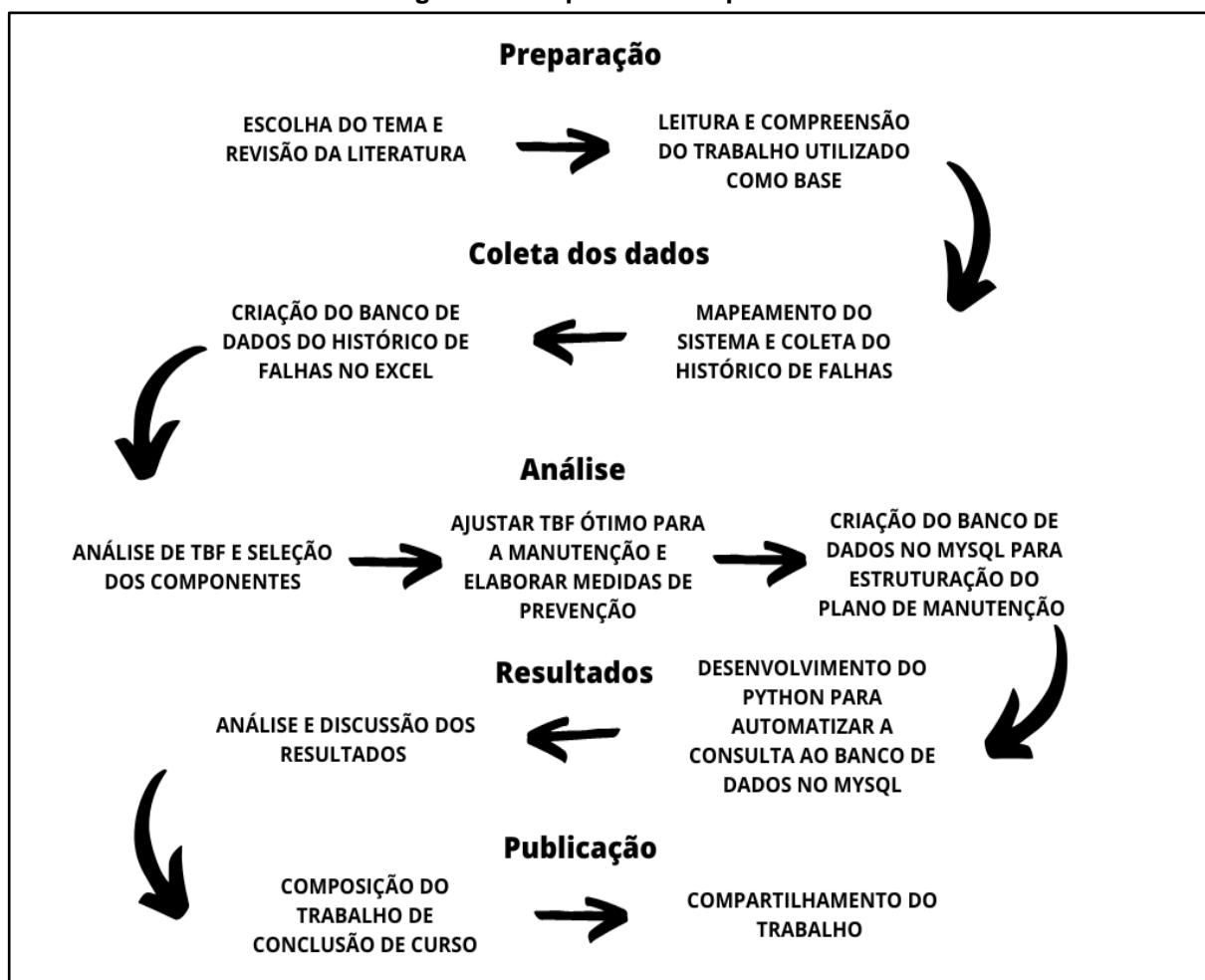
Após isso, é factível a análise RAM para implementação de ações de manutenção mais assertivas e o uso do MySQL para servir de suporte para construção

do plano de manutenção, buscando maior disponibilidade do ativo e melhores índices de produção com redução nos gastos envolvidos.

3.3. Etapas de desenvolvimento do trabalho

O presente trabalho é estruturado nas seguintes etapas: preparação da pesquisa, coleta dos dados, procedimento de análise, interpretação de resultados e compartilhamento. A Figura 3 apresenta o esquema das etapas de desenvolvimento do trabalho.

Figura 3 – Esquema de etapas do trabalho



Fonte: Autoria Própria (2022)

As etapas contidas na figura 3 são detalhadas a seguir:

Primeiramente, é importante ter o tema bem esclarecido e realizar uma revisão na literatura, visando conhecer as capacidades envolvidas durante a execução da pesquisa.

Posteriormente, conhecer o funcionamento do maquinário proposto sucedido do mapeamento dos sistemas inclusos, coleta de TBF, TTR e de dados disponíveis do equipamento, tendo em vista um maior entendimento sobre a ocorrência de falhas.

Após isso, as informações abastecem o banco de dados para que possam ser processadas e feita uma análise RAM do equipamento como um todo e também em relação ao TBF de cada mecanismo, identificando quais as principais causas de falha. Com isso, será possível delinear uma classificação para componentes críticos que, em seguida, sofrerá um ajuste para determinação do tempo referência de execução da atividade preventiva, cerca de 90% do TBF original. Feito isso, haverá uma pesquisa para apontar qual ação deve ser implementada para mitigar cada modo de falha especificado entre os mecanismos selecionados, a fim de evitar a manutenção corretiva e aumentar a vida útil dos componentes.

Por conseguinte, as informações obtidas irão abastecer um banco de dados confeccionado no MySQL, visando unir todos os dados em um local que servirá de base para o *Smart System* desenvolvido em Python, onde a consulta das atividades de prevenção será automatizada. Sendo assim, o plano de manutenção irá possuir agilidade de construção e consulta, e estará montado para diminuição ou até mesmo eliminação dos modos de falhas.

Por fim, o corpo do Trabalho de Conclusão de Curso será elaborado nas normas requeridas e submetido para periódico ou artigo científico para publicação em congresso.

4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentadas etapas de desenvolvimento do trabalho compreendendo: apresentação do ambiente industrial de aplicação, fonte da base de dados, análise RAM, desenvolvimento do sistema especialista com MySQL e Python e a estrutura de política de manutenção estruturada.

4.1. Apresentação da empresa

Conforme o trabalho “Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando a análise de modo e efeito de falhas – FMEA: estudo de caso em uma indústria papelreira” do autor CORREIA, A. K. (2017), publicada pela UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a empresa está situada na cidade de Guarapuava, atua no ramo de papel e celulose, possuindo grande representatividade na produção de chapas e embalagens de papelão ondulado do Brasil.

Seu principal produto é o papel Kraft, com capacidade de produzir 2.700 toneladas / mês. A unidade emprega diretamente cerca de 250 pessoas e opera em ciclo ininterrupto de 24 horas, sendo 4 turnos de 6 horas. Toda a produção é direcionada para o interior de São Paulo, onde está localizada a matriz do grupo de indústrias de embalagens que participa.

O objeto central de pesquisa é a caldeira de biomassa em razão de sua criticidade no processo de produção. Para desenvolver a política de manutenção suportada pelo sistema especialista são realizadas as seguintes etapas:

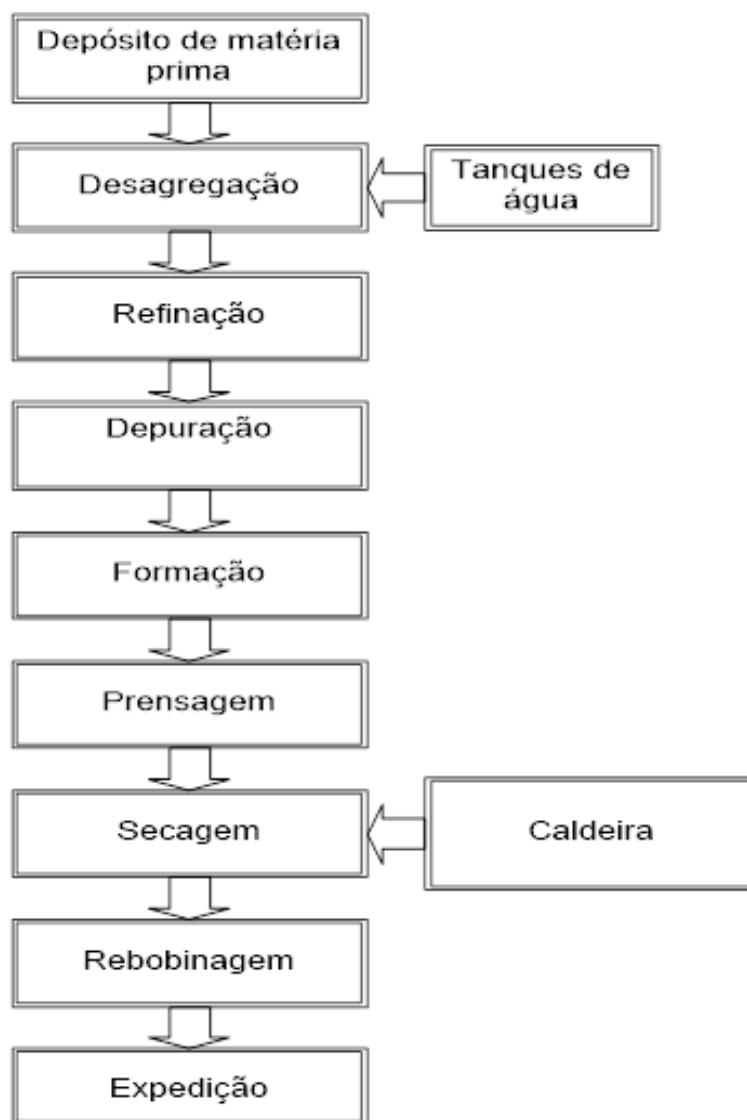
- I. Mapeamento do processo produtivo, para promover um resumo das etapas do processo, o porquê a caldeira será o ativo utilizado e o modelo do estudo de caso.
- II. Árvore funcional da caldeira a qual exemplifica os subsistemas e mecanismos presentes na caldeira, as respectivas identificações (TAGs) e a função de cada subsistema.
- III. Análise da base dados: Registros de manutenção, FMEA e indicadores de desempenho.

- IV. Estrutura do Banco de dados com histórico de falhas e análise por meio da implementação no Excel, modo de análise, tratativas propostas e abastecimento no MySQL
- V. Desenvolvimento em Python para integração entre o programa e o banco de dados juntamente com a maneira de realizar consultas

4.2. Mapeamento do processo produtivo

Visando representar de maneira evidente as etapas do processo, a Figura 4 contém o fluxo sequencial para a produção do papel.

Figura 4 – Fluxo da produção de papel na empresa do estudo de caso



Fonte: CORREIA, A. (2017)

Dessa maneira, existem onze etapas. A primeira se dá no depósito de matéria-prima, o qual contém todo o material que é aplicado na produção do papel. Após isso, há a desagregação das fibras dos materiais provenientes de papel reciclável. Já os tanques de água armazenam a água que será utilizada no processo de desagregação e que contribui para o transporte da massa pelos tubos.

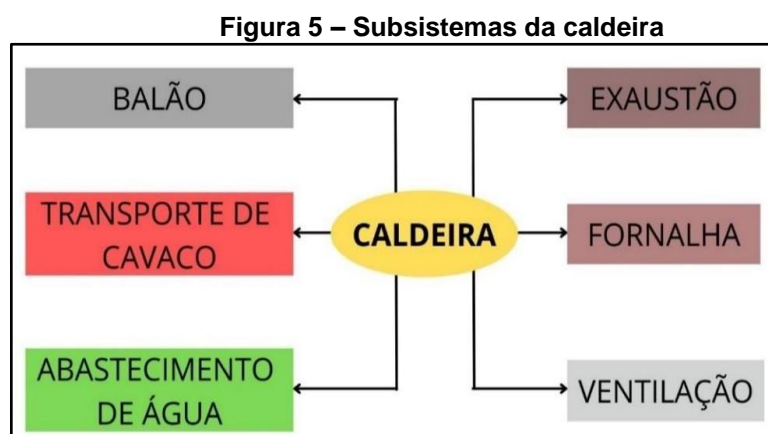
Na etapa de refinação, as fibras são limpas e separadas, seguindo então para a depuração. Nesta fase, as fibras são classificadas conforme o tamanho e armazenadas em tanques. Durante a formação, a massa que foi classificada anteriormente é inserida nos rolos formadores que são responsáveis por entrelaçar as fibras, originando uma manta de papel. A partir daí, essa manta segue para a prensagem, onde será comprimida para retirada do excesso de água e, como consequência, há uma conformação entre as fibras que foram entrelaçadas.

A secagem acontece através da passagem da folha por cilindros secadores, que possuem em seu interior o vapor saturado oriundo da caldeira, acarretando na troca térmica e secagem do papel. A caldeira é responsável única e exclusivamente por propiciar a energia térmica essencial para a secagem.

Por fim, na rebobinagem a folha de papel é enrolada em medidas padronizadas, embalada e estocada para que a expedição possa direcionar o produto para o cliente.

4.3. Árvore funcional da caldeira de biomassa

A Figura 5 apresenta os subsistemas da caldeira de biomassa estudada.



Fonte: Adaptado de CORREIA, A. (2017)

Já no Quadro 02 estão dispostas as relações entre os subsistemas, seus elementos e a TAG referente a cada elemento.

Quadro 2. Relação entre os subsistemas, seus elementos e TAG – Caldeira de Biomassa

| SISTEMA / SUBSISTEMA | ELEMENTO | TAG |
|-----------------------------|--|-------------|
| Balão | Pressostato da caldeira | 141-PST-001 |
| | Válvula de segurança | 141-PSV-001 |
| | Válvula de segurança | 141-PSV-002 |
| | Termômetro | 141-TER-002 |
| | Linha de vapor | 141-LVP-001 |
| | Válvula 01 de descarga de fundo | 141-VAL-001 |
| | Válvula 02 de descarga de fundo | 141-VAL-002 |
| | Válvula 03 de descarga de fundo | 141-VAL-003 |
| | Válvula 04 de descarga de fundo | 141-VAL-004 |
| | Válvula 05 de descarga de fundo | 141-VAL-005 |
| | Válvula principal da caldeira (saída de vapor) | 141-VAP-001 |
| | Indicador de nível | 141-NIV-001 |
| Caldeira | Caldeira de biomassa | 141-CAL-001 |
| Exaustão | Chaminé | 141-CHA-001 |
| | Exaustor de tiragem da caldeira | 141-EXA-001 |
| Fornalha | Rosca dosadora de cavaco da caldeira | 141-ROS-002 |
| | Correia transportadora 01 | 141-EST-01 |
| | Válvula rotativa 01 | 141-VRT-001 |
| | Válvula rotativa 02 | 141-VRT-002 |
| Abastecimento de água | Tanque de água fresca para os abrandadores | 141-TNQ-001 |
| | Tanque de alimentação da caldeira (tanque de nível) | 141-TNQ-002 |
| | Tanque t-s sistema de abrandamento de água da caldeira | 141-TNQ-003 |
| | Tanque de descarga de fundo | 141-TNQ-004 |
| | Abrandador 01 | 141-ABR-001 |
| | Abrandador 02 | 141-ABR-002 |
| | Bomba de água de alimentação da caldeira | 141-BCE-024 |
| | Bomba de água de alimentação da caldeira | 141-BCE-025 |
| | Linha de condensado | 141-LCD-001 |
| Ventilação | Ventilador de ar primário slh-355 | 141-VNT-001 |
| | Ventilador de ar primário sln-800 | 141-VNT-02 |
| Transporte de cavaco | Moega md/35 | 141-MOE-001 |
| | Correia transportadora 01 | 141-EST-001 |
| | Correia transportadora 02 | 141-EST-002 |
| | Correia transportadora 03 | 141-EST-003 |
| | Peneira de disco | 141-PNE-001 |

Fonte: Adaptado de CORREIA, A. (2017)

O prédio da caldeira contém o balão e seus respectivos equipamentos de controle. Já no transporte de cavaco são expostas as esteiras responsáveis por fazer a alimentação da biomassa, transportando do pátio à fornalha.

A Figura 6 mostra a disposição dos subsistemas da caldeira. Os gases resultantes da combustão da biomassa passam pelos tubos presentes no balão (figura 6a), sendo a figura 6b a fornalha. Os ventiladores (figura 6c) são responsáveis por direcionar os gases para o balão e que, posteriormente, saem pelo exaustor (figura 6d). Já as bombas (figura 6e) são encarregadas de abastecer o balão com água para que possa haver a troca de calor dos tubos com a água.

Figura 6. (a) Balão, (b) Fornalha, (c) Ventilação, (d) Exaustão e (e) Abastecimento de água



Fonte: CORREIA, A. (2017)

É importante ressaltar que existem pontos de lubrificação expostos, desgastes nos dutos de ar acarretados pela fuligem gerada na queima da biomassa e que há transporte de fluidos em alta pressão e temperatura, gerando dilatações térmicas. Outro ponto importante é que boa parte dos elementos que constituem os subsistemas da caldeira são afetados pela temperatura praticamente em todo o processo de geração de vapor, isso acaba promovendo uma corrosão acelerada dos componentes.

Ademais, existem elementos expostos à umidade e resíduos resultantes do transporte de cavaco, como: exaustor, correias transportadoras e de acionamento, motor, rolamentos, entre outros. Esse modo de degradação é um dos principais geradores de falhas no maquinário.

4.4. Coleta e análise dos dados dos registros de manutenção, fmea e indicadores de desempenho da caldeira

Um documento imprescindível para a composição de um plano de manutenção é um histórico de falhas robusto e consistente. Dito isso, no apêndice A do trabalho “Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando a análise de modo e efeito de falhas – FMEA: estudo de caso em uma indústria papeleira” do autor CORREIA, A. K. (2017), publicada pela UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, está disposto o histórico de falhas da caldeira coletado entre 2014 e 2017. Esse documento está disponível no **ANEXO A** deste trabalho e é ilustrado inicialmente na Tabela 1.

Tabela 1 - Parte inicial histórico de falhas

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|---|---------|---------|------------------------|---|
| 03/01/2014 | 141-ABR-001 | 4017 | Eliminar vazamento no abrandador 01 | 43,5 | 11 | Sim | - |
| 06/01/2014 | 141-ABR-001 | 5903 | Trocar abrandador-01 | 695 | 6,5 | Sim | - |
| 12/01/2014 | 141-ABR-001 | 6147 | Eliminar vazamentos | 44,5 | 1,5 | Sim | - |
| 16/01/2014 | 141-ABR-001 | 6664 | Verificar defeito nos manômetros dos abrandadores da caldeira | 110 | 4 | Sim | - |
| 20/01/2014 | 141-ABR-001 | 11902 | Manutenção no sistema de abrandadores | 59 | 0,4 | Sim | - |

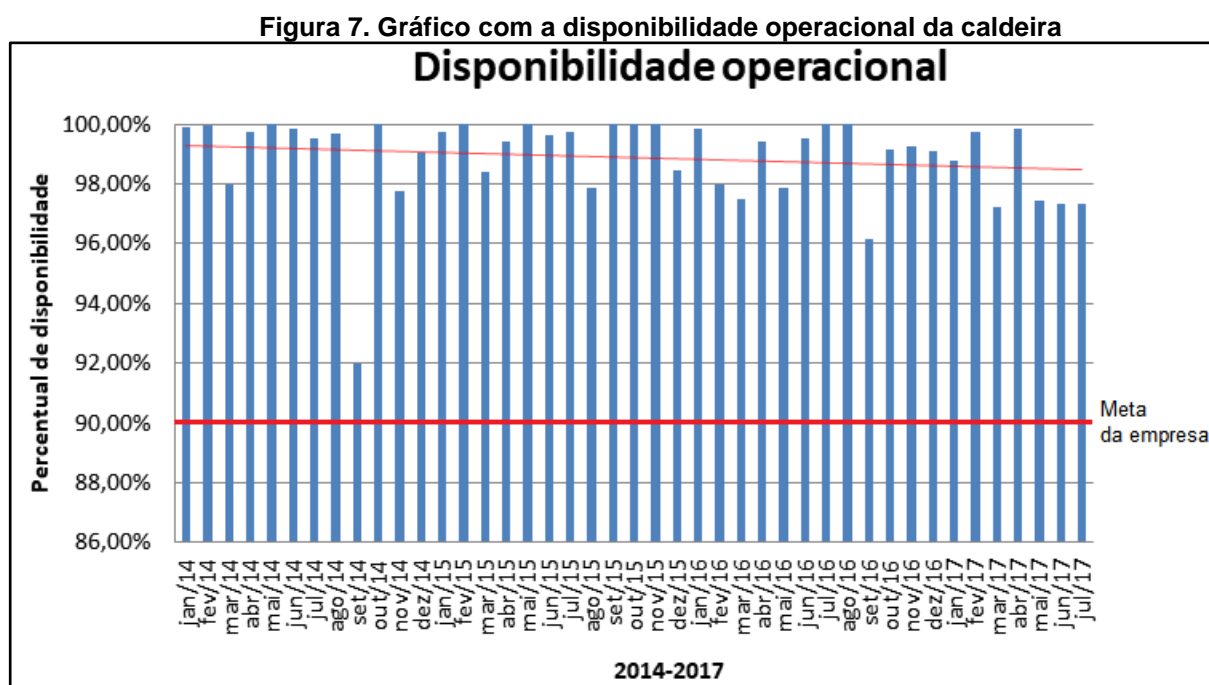
(continua)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | (conclusão) INTERROMPE O PROCESSO? |
|------------|-------------|------|--|---------|---------|---|
| 07/02/2014 | 141-BCE-024 | 1996 | Trocar acoplamento da bomba de alimentação da caldeira | 46,5 | 0,83 | - Não |
| 11/02/2014 | 141-BCE-024 | 2055 | Manutenção corretiva bomba de alimentação da caldeira bremer | 19,6 | 8 | - Não |
| 11/02/2014 | 141-BCE-024 | 2701 | Revisar motor mot-0049 | 645,5 | 8 | Sim - |

Fonte: Adaptado de CORREIA, A. (2017)

O documento está organizado por TAG com todos os registros de cada uma durante o período de 2014 a 2017. A sigla OS representa o número da ordem de serviço e o TBF e TTR correspondem ao tempo entre falhas e o tempo de reparo respectivamente, com ambos em horas.

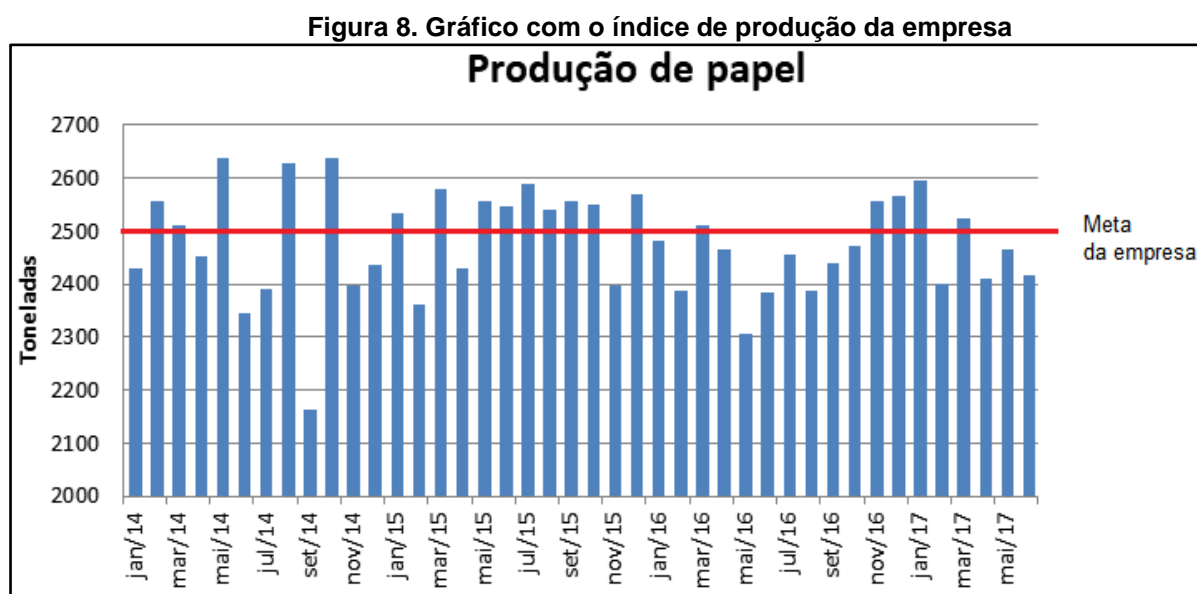
Na Figura 7 é apresentado um gráfico com a porcentagem de disponibilidade operacional mensal da caldeira durante todo o período, juntamente com a meta da empresa.



Fonte: CORREIA, A. (2017)

Posto isso, é perceptível que em nenhum dos meses a disponibilidade foi menor do que desejada e o valor mais baixo obtido foi de 92% em setembro de 2014.

Entretanto, a indisponibilidade da caldeira afeta diretamente a produção, sendo possível observar os índices de produção na Figura 8.



Fonte: CORREIA, A. (2017)

A empresa possui como meta 2500 toneladas de papel por mês, porém essa quantidade foi atingida em 19 dos 42 meses analisados. É possível notar que em setembro de 2014, quando a caldeira apresentou sua menor disponibilidade, que a produção foi afetada e também apresentou seu menor volume. Ao fazer essa relação de disponibilidade com produtividade durante todo período, é evidente a influência da caldeira nos índices de produção.

4.5. Tabulação do banco de dados para análise RAM

Para efetivar a análise RAM, uma planilha em Excel foi abastecida com o histórico de falhas, assim como a Tabela 1. No próprio histórico já são discriminados o TBF e o TTR, sendo o tempo em horas entre falhas e o tempo em horas para reparo de cada falha descrita. A partir daí, calculou-se o MTBF e o MTTR do sistema como um todo, utilizando todos os valores de TBF e TTR, através das fórmulas 1.1 e 1.2 respectivamente.

$$MTBF = \frac{\Sigma TBF}{Quantidade\ de\ intervalos} = 153,4$$

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{\text{Quantidade de intervenções}} = 4,2$$

Para MTBF o valor obtido foi de 153,4 horas e de MTTR foi de 4,2 horas. Com apoio da equação 1.3 calculou-se o valor para disponibilidade durante todo o período observado.

$$AV = \frac{153,4}{153,4 + 4,2} \times 100 = 97,4\%$$

Para cálculo da manutenibilidade e da confiabilidade considerou-se um intervalo de 25 horas e com suporte das fórmulas 1.4, 1.5 e 1.6. É importante citar que tanto a taxa de falha, quanto a taxa de reparo foram consideradas constantes para os cálculos.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{153,4} = 0,00652 \quad \text{e} \quad R(t) = e^{-((0,00652) \times 25)} = 85\%$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{4,2} = 0,2381 \quad \text{e} \quad M(t) = 1 - e^{-(0,2381 \times 25)} = 99,75\%$$

Encontrou-se um valor de 85% para confiabilidade e 99,75% para manutenibilidade. Dessa maneira, nas 25 horas analisadas há uma chance de 99,75% do equipamento passar por uma manutenção e ser recolocado em funcionamento, e de 85% do equipamento exercer a função requerida de forma satisfatória.

Buscando demonstrar o potencial e tornar mais objetivo o trabalho, cinco TAG's foram selecionadas para serem o foco de execução do trabalho, servindo como exemplo para criação do plano de manutenção. Essas TAG's são explícitas no Quadro 3.

Quadro 3. Elementos selecionados para realização do trabalho

| TAG | ELEMENTO |
|-------------|--|
| 141-BCE-025 | BOMBA DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA |
| 141-CAL-001 | CALDEIRA DE BIOMASSA |
| 141-LVP-001 | LINHA DE VAPOR |
| 141-VAL-002 | VÁLVULA 02 DE DESCARGA DE FUNDO |
| 141-VAL-003 | VÁLVULA 03 DE DESCARGA DE FUNDO |

Fonte: Autoria própria (2022)

Após isso, os dados desses cinco elementos abasteceram uma nova planilha para criação de uma política de manutenção, porém para efetuação de uma manutenção preventiva com uma boa utilização da vida útil de cada componente é importante determinar um tempo de referência. Esse tempo de referência é baseado no TBF presente no histórico de falhas e garante que o equipamento não sofrerá uma manutenção prematura.

Foi estabelecido que o tempo referência para execução de serviço deve ocorrer com 90% do TBF original e, adjunto a essa alteração, adicionou-se uma coluna nomeada de “Descrição da atividade”, direcionada para o esclarecimento das atividades que devem ser feitas a fim de melhorar os índices obtidos na análise RAM e, conseqüentemente, a produtividade da empresa.

O Quadro 4 exemplifica de maneira enxuta como foram dispostos os dados no Excel, juntamente com a descrição da atividade proposta para o plano de manutenção, e no capítulo 5 é possível consultar o quadro completo.

Quadro 4. Modelo da planilha de análise para confecção do plano de manutenção

| TAG | Modo de Falha | TBF(h) – Histórico de Manutenção | Tempo referência de Execução / Periodicidade (h) | Atividade Preventiva |
|-------------|---|---|---|--|
| 141-BCE-025 | Curto no circuito elétrico da bomba de alimentação da caldeira | 502 | 452 | Verificar estado de conservação: oxidação, sujeira, fiação desencapada, umidade e limpeza se necessário |
| 141-CAL-001 | Substituir vedação da porta de alimentação da caldeira biomassa | 342 | 308 | Acompanhar temperatura da caldeira e verificar estado de conservação da vedação das portas |
| 141-VAL-003 | Vazamento na junta de válvula de descarga da caldeira biomassa | 143,7 | 129 | Inspeção nas juntas com ultrassom para detectar vazamentos e avaliar os componentes de vedação, realizando limpeza quando necessário |

Fonte: Autoria própria (2022)

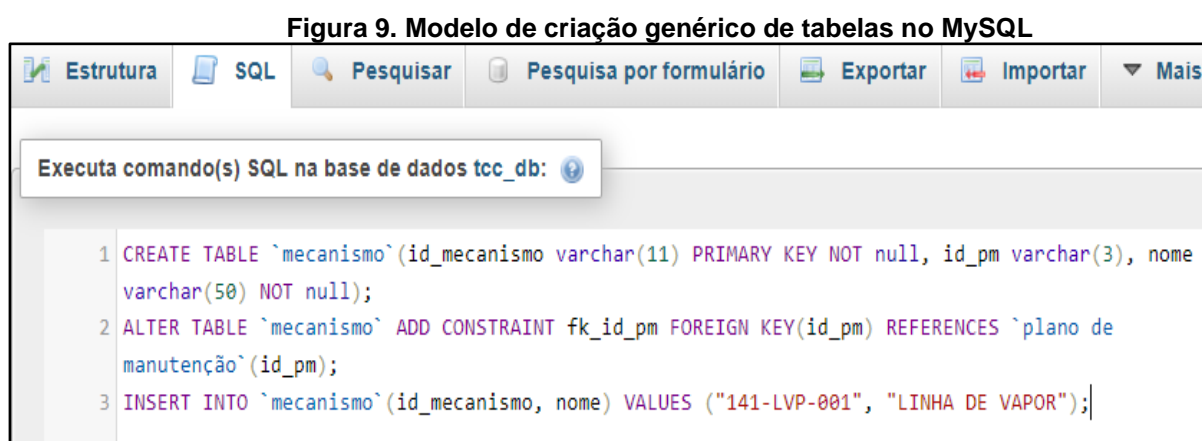
Junto a essas ações é importante seguir as recomendações da NR13, como: desmontar, inspecionar e calibrar as válvulas de segurança com prazo adequado à sua manutenção, testar as válvulas de segurança uma vez ao mês caso trabalhe sem tratamento de água ou, caso trabalhe com água tratada, realizar quando detectar

condições anormais. Desse modo, o plano de manutenção aliado a NR13 e o FMEA produzido por Correia (2017), irá agregar mais segurança ao processo.

A análise em Excel foi importante para determinação do tempo de referência, pois mesmo com um MTBF de 153 horas, alguns elementos possuíam um TBF muito inferior, necessitando de mais atenção. Quando houve mais de uma ocorrência para o mesmo modo de falha, selecionou-se o menor TBF para manter o trabalho mais conservador. Por fim, as ações de manutenção foram designadas para todos os tipos de falhas contemplados nos cinco elementos selecionados, finalizando a parte em Excel.

4.6. Aplicação de MySQL para estruturar banco de dados

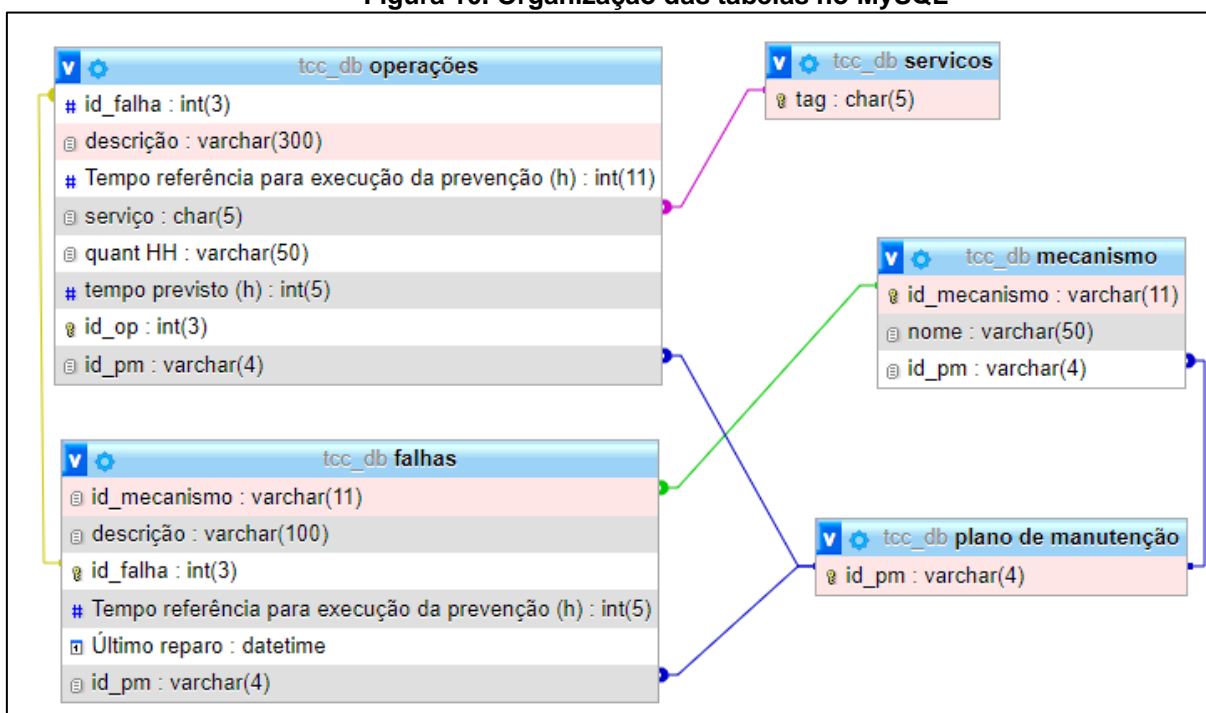
Para agilizar a consulta as informações, implementou-se o banco de dados em SQL através do programa MySQL. Essa ferramenta irá permitir a integração com o Python posteriormente e automatizar a busca. A Figura 9 apresenta o modo genérico de criação de tabelas, implementação de dados e criação de chave estrangeira utilizando o MySQL sobre a base de dados dos registros de manutenção, FMEA e indicadores de desempenho do vaso de pressão em estudo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Inicialmente, o banco de dados foi criado e recebeu o nome de **“tcc_db”**. Em seguida, adicionou-se cinco tabelas nomeadas de **“plano de manutenção”**, **“mecanismo”**, **“falhas”**, **“operações”** e **“serviços”** de modo análogo a figura 10. A figura 10 evidencia a maneira geral como as tabelas estão organizadas.

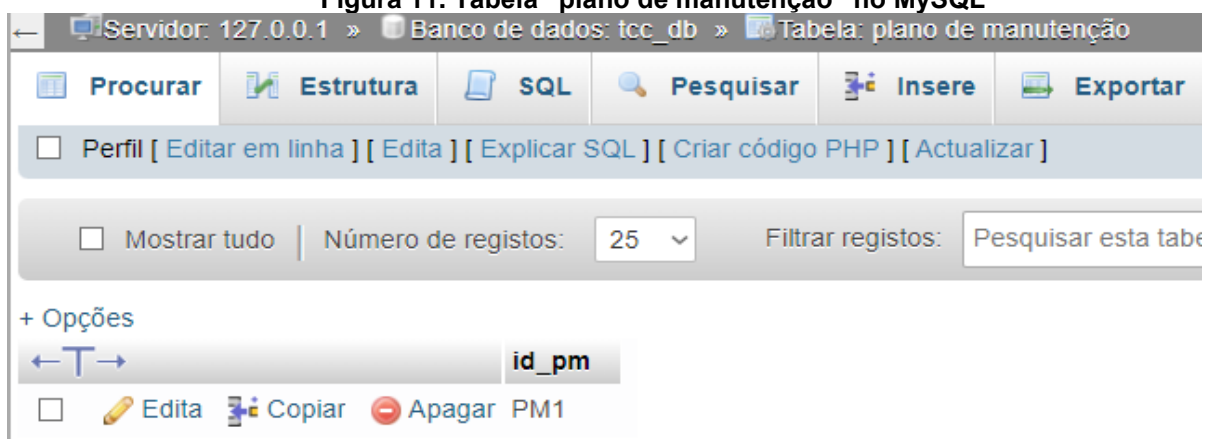
Figura 10. Organização das tabelas no MySQL



Fonte: Autoria própria (2022)

Cada tabela recebeu a quantidade de colunas necessária para um gerenciamento adequado da manutenção. A tabela “plano de manutenção” identifica a qual plano está ligada àquela informação, podendo existir mais de um no mesmo banco de dados e sendo identificado pela coluna “id_pm”. Para exemplificação durante o desenvolvimento do trabalho adicionou-se PM1 para representar o plano de manutenção um, como apresentado na Figura 11.

Figura 11. Tabela “plano de manutenção” no MySQL



Fonte: Autoria própria (2022)

Já na tabela “mecanismo” são implementadas informações sobre o elemento com “id_mecanismo” para atribuição da TAG, “nome” para descrição de

qual mecanismo possui a TAG informada e “**id_pm**” uma chave estrangeira ligada a tabela “**plano de manutenção**” para identificar a qual plano pertence essa informação. A Figura 12 expõe a tabela operações.

Figura 12. Tabela “mecanismo” no MySQL

| | | | | id_mecanismo | nome | id_pm |
|--------------------------|--|--|--|--------------|--|-------|
| <input type="checkbox"/> | | | | 141-BCE-025 | Bomba de água de alimentação da caldeira | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | | | | 141-CAL-001 | Caldeira de biomassa | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | | | | 141-LVP-001 | Linha de vapor | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | | | | 141-VAL-002 | Válvula 2 de descarga de fundo | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | | | | 141-VAL-003 | Válvula 3 de descarga do fundo | PM1 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Em falhas, por sua vez, está contido o histórico de falhas, com “**id_mecanismo**” e “**id_pm**” chaves estrangeiras. Dessa maneira, “**id_falha**” admite um número de identificação para a falha, “**descrição**” possibilita explicar qual foi a falha ou o serviço realizado no histórico.

Para determinar a frequência de inspeção, ou seja, o “**tempo de referência para execução da prevenção (h)**” é adotado o valor em horas de 90% do TBF(h) oriundo dos registros de manutenção do ativo industrial em estudo (caldeira), assim a periodicidade de execução da atividade preventiva para evitar o modo de falha identificado é obtido pela equação 7:

$$P_i = 0,90 \times TBF(h) \quad (\text{Eq. 7})$$

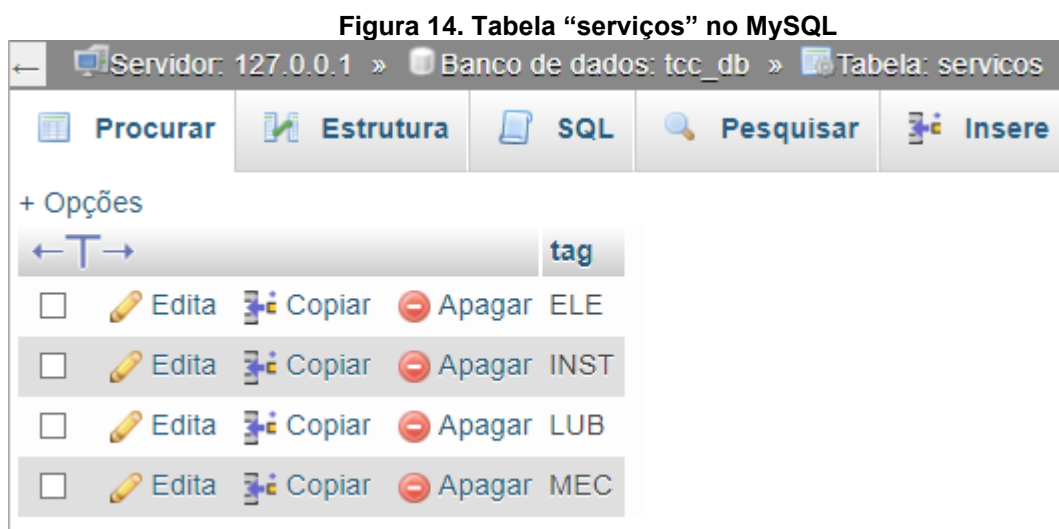
Sendo P_i a periodicidade da inspeção preventiva e 0,90 a constante da fórmula. Caso o modo de falha tenha ocorrido mais de uma vez, é considerado para determinar a frequência de inspeção preventiva, o menor valor de TBF(h) relacionado ao modo de falha analisado. A seguir a Figura 13 exhibe a tabela falhas no banco de dados estruturado pelo MySQL. É importante ressaltar que os três casos presentes em “**Último reparo**” são apenas simulações e toda informação que consta como “**NULL**” deve ser implementada pelo operador responsável, garantindo uma gestão da manutenção com dados verídicos e atualizados.

Figura 13. Tabela “falhas” no MySQL.

| | id_mecanismo | descrição | id_falha | Tempo referência para execução da prevenção (h) | Último reparo | id_pm |
|--------------------------|--------------|---|----------|---|---------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> | 141-BCE-025 | CURTO NO CIRCUITO ELÉTRICO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO... | 1 | 452 | 2022-05-04 12:00:00 | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-LVP-001 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA CALDEIRA | 9 | 83 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-LVP-001 | ELIMINAÇÃO DE VAZAMENTO NA LINHA DE VAPOR | 8 | 85 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-VAL-002 | TROCAR VÁLVULA DE DESCARGA 02 DA CALDEIRA | 7 | 235 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-VAL-002 | TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA | 6 | 63 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-VAL-003 | VAZAMENTO NA VÁLVULA | 5 | 19 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-VAL-003 | TROCA DA VÁLVULA | 4 | 86 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-VAL-003 | VAZAMENTO NA JUNTA DE VALVULA DE DESCARGA DA CALDE... | 3 | 129 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-CAL-001 | SUBSTITUIR VEDAÇÃO DA PORTA DE ALIMENTAÇÃO DA CALD... | 2 | 308 | NULL | PM1 |
| <input type="checkbox"/> | 141-LVP-001 | SUBSTITUIR JUNTAS DE VEDAÇÃO DE VAPOR | 10 | 17 | NULL | PM1 |

Fonte: Autoria própria (2022)


A tabela “**servicos**” visa atribuir qual categoria de serviço que será realizado, sendo identificado pela coluna “**tag**”. As classes definidas foram “**ELE**” para elétrica, “**MEC**” para mecânica, “**LUB**” para lubrificação e “**INST**” para instrumentação. A Figura 14 apresenta a tabela.



Fonte: Autoria própria (2022)

Por último, a tabela “**operações**” possui três chaves estrangeiras, são elas: “**serviço**”, “**id_pm**” e “**id_falha**”. Somado a isso, a coluna “**id_op**” aponta o número da operação, “**descrição**” permite a elucidação da atividade a ser feita, “**tempo de referência para execução da prevenção (h)**” possui a mesma função descrita em “**falhas**”, “**quant HH**” é a quantidade homens-hora e “**tempo previsto (h)**” é o tempo estipulado em horas para efetuação da operação. A Figura 15 explicita de maneira resumida como a tabela operações está disposta.

Figura 15. Tabela “operações” no MySQL

| Procurar Estrutura SQL Pesquisar Inserir Exportar Importar Privilégios Operações Rastreado Acionadores | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|---|---|---------|----------|--------------------|-------|-------|--|
| | | id_falha | descrição | Tempo referência para execução da prevenção (h) | serviço | quant HH | tempo previsto (h) | id_op | id_pm | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 1 | VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO: OXIDAÇÃO, SUJEIRA, FIAÇÃO DESENCAPADA, UMIDADE E LIMPEZA SE NECESSÁRIO | 452 | ELE | 1 | 2 | 1 | PM1 | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 2 | ACOMPANHAR TEMPERATURA DA CALDEIRA E VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA VEDAÇÃO DAS PORTAS | 308 | MEC | 1 | 1 | 2 | PM1 | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 3 | INSPEÇÃO NAS JUNTAS COM ULTRASSOM PARA DETECTAR VAZAMENTOS E AVALIAR OS COMPONENTES DE VEDAÇÃO, REALIZANDO LIMPEZA QUANDO NECESSÁRIO | 129 | MEC | 1 | 1 | 3 | PM1 | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 4 | VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO (INSPEÇÃO) E REVISÃO GERAL DA VÁLVULA DURANTE PARADA DA CALDEIRA PARA TESTE HIDROSTÁTICO NR13 (SE NECESSÁRIO) | 86 | MEC | NULL | NULL | 4 | PM1 | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 5 | VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO (INSPEÇÃO) E REVISÃO GERAL DA VÁLVULA DURANTE PARADA DA CALDEIRA PARA TESTE HIDROSTÁTICO NR13 (SE NECESSÁRIO) | 19 | MEC | NULL | NULL | 5 | PM1 | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 6 | VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO E PRESENÇA DE VAZAMENTO COM UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS PREDITIVAS ADEQUADAS | 63 | MEC | NULL | NULL | 6 | PM1 | |
| <input type="checkbox"/> |  Edita  Copiar  Apagar | 7 | VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO (INSPEÇÃO) E REVISÃO GERAL DA VÁLVULA DURANTE PARADA DA CALDEIRA PARA TESTE HIDROSTÁTICO NR13 (SE NECESSÁRIO) | 235 | MEC | NULL | NULL | 7 | PM1 | |

Fonte: Autoria própria (2022)

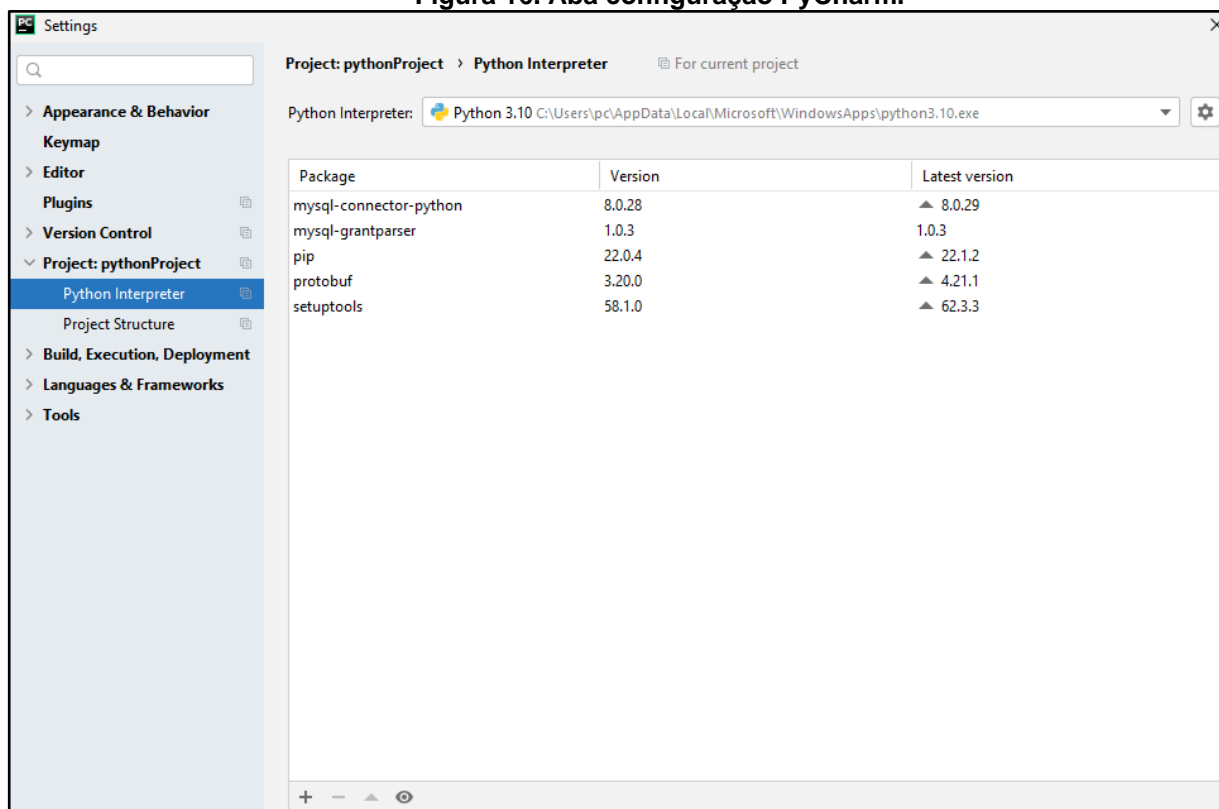
Após a conclusão da parte em MySQL é factível a construção do programa em Python, gerando o sistema especialista para automatizar a busca e agilizar as ações de manutenção.

4.7. Automação em Python do banco de dados para desenvolvimento do sistema especialista (*Smart System*)

Para agilizar a consulta ao banco de dados com as informações da manutenção que deve ser praticada, desenvolveu-se um *Smart System* em linguagem Python através do programa **PyCharm**.

Para tanto, faz-se necessário criar uma ligação entre o PyCharm e o MySQL para que seja possível realizar uma busca. O primeiro passo é adicionar um driver MySQL ao projeto utilizando a aba de “configurações”. Na parte inferior esquerda da tela há a opção de adicionar um novo drive, conforme a Figura 16.

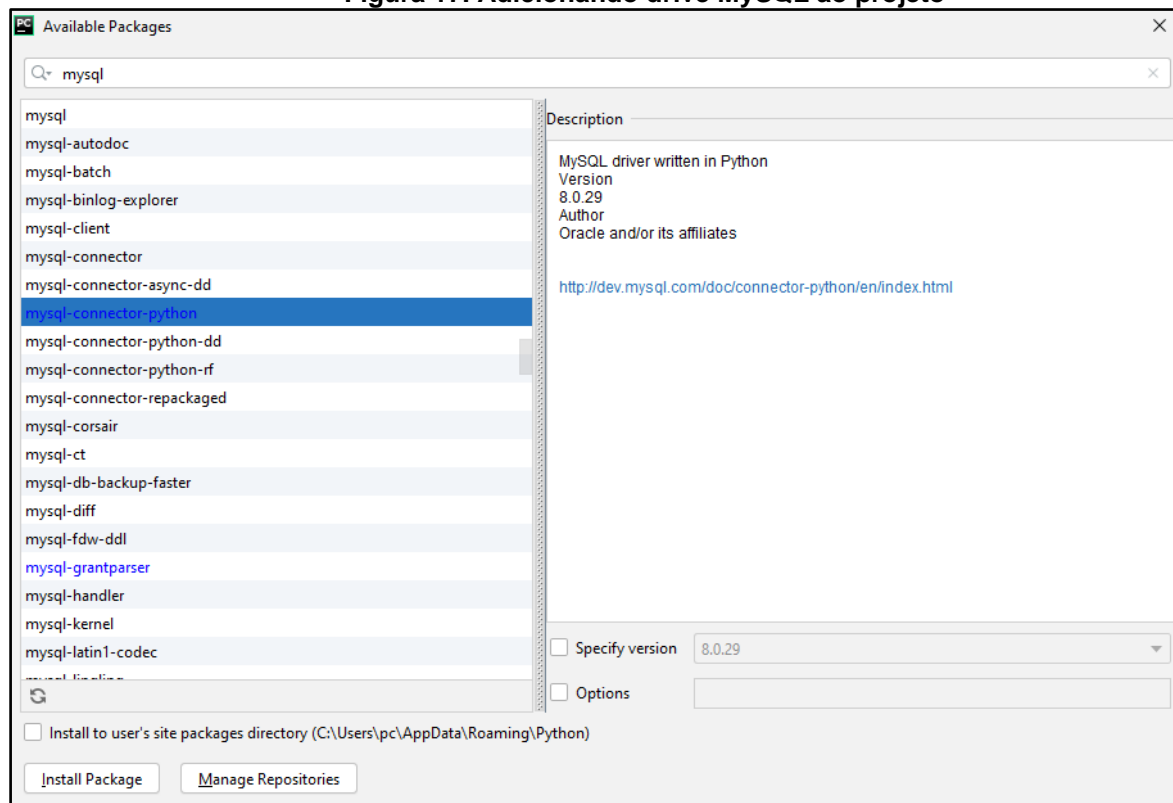
Figura 16. Aba configuração PyCharm.



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida, ao clicar na opção de adicionar, basta procurar por “**mysql-connector-python**” e instalar o pacote, assim como apresentado na Figura 17.

Figura 17. Adicionando drive MySQL ao projeto



Fonte: Autoria própria (2022)

Esse drive possibilita a conexão entre os dois programas através da função “**mysql.connector**”. Para sua execução é necessário identificar o “**host**”, que representa o local onde está instalado o programa MySQL e para esse caso é utilizado o mesmo computador para os dois programas, por isso é preenchido como “**localhost**”.

O próximo passo é preciso informar qual o “**user**” e “**password**”, simbolizando o usuário e a senha configurados durante a instalação do MySQL para acessar o programa. Desse modo, “**root**” é o usuário e não há senha para acessar. Seguidamente é exigido comunicar o “**port**”, refletindo o porto ou a porta para acessar o MySQL e, por padrão, o porto é “**3306**”.

Por fim, basta nomear qual o banco de dados presente no programa deve ser acessado através do “**database**”, que para o presente trabalho foi nomeado de “**tcc_db**”. A Figura 18 exemplifica o modo feito para conexão.

Figura 18. Modelo de criação de conexão entre PyCharm e MySQL

```
import mysql.connector

#criando conexão
conexao = mysql.connector.connect(
    host='localhost',
    user='root',
    password='',
    port='3306',
    database='tcc_db')
```

Fonte: Autoria própria (2022)

Posteriormente foi construído um cursor que é responsável por executar o comando do Python no SQL. O cursor foi nomeado de “c” e opera conforme o informado na linha “c.execute”. Assim, a parte presente entre parênteses é atribuída ao SQL e realiza a busca. O resultado é implementado na variável “result_mecanismo” e será printado de maneira repetitiva enquanto existirem resultados. Essa atividade está exposta na Figura 19.

Figura 19. Modelo de cursor no PyCharm

```
#printando mecanismos
c = conexao.cursor()
c.execute("SELECT * FROM mecanismo")
result_mecanismo = c.fetchall()
print(' PM - TAG - NOME')
for c in result_mecanismo:
    print(' ' + c[2] + ' - ' + c[0] + ' - ' + c[1])

#inserindo a TAG
tag = input("\nDigite a TAG desejada no formato (000-XXX-000): ")
```

Fonte: Autoria própria (2022)

A primeira busca implementada na função “**c.execute**” visa mostrar ao operador quais são os mecanismos cadastrados no banco de dados juntamente com o respectivo plano de manutenção e sua TAG. Esse resultado é direcionado para “**result_mecanismo**” e imprimido de maneira contínua enquanto existirem resultados. Logo em seguida, é solicitado que o mesmo informe qual a TAG desejada para as outras pesquisas. A tela apresentada é demonstrada na Figura 20.

Figura 20. Tela inicial apresentada ao operador

```
PM   -   TAG   -   NOME
PM1 - 141-BCE-025 - Bomba de água de alimentação da caldeira
PM1 - 141-CAL-001 - Caldeira de biomassa
PM1 - 141-LVP-001 - Linha de vapor
PM1 - 141-VAL-002 - Válvula 2 de descarga de fundo
PM1 - 141-VAL-003 - Válvula 3 de descarga do fundo
```

Digite a TAG desejada no formato (000-XXX-000):

Fonte: Autoria própria (2022)

A seguir, a informação digitada pelo usuário é usada para efetuar uma nova busca, mas agora pretendendo encontrar quais são os tipos de falhas existentes no banco de dados para o mecanismo proposto. Será apresentado novamente o nome do componente e então é criado um novo cursor para executar a consulta de todas as falhas cadastradas para a TAG definida. O resultado é agora direcionado para “**result_falhas**” e também é informado ao usuário de modo de contínuo enquanto houverem respostas, conforme a Figura 21.

Figura 21. Parte do programa que busca as falhas

```
#Inserindo a TAG
tag = input("\nDigite a TAG desejada no formato (000-XXX-000): ")

#Executando a busca de mecanismo
c = conexao.cursor()
c.execute("SELECT nome FROM mecanismo WHERE id_mecanismo = '%s'" %tag)
result_nome = c.fetchall()

for c in result_nome:
    print(f'O sistema escolhido foi: ' + c[0])

#Encontrando os tipos de problemas
c = conexao.cursor()
c.execute("SELECT id_pm,id_falha,descrição,`Tempo referência para execução da prevenção (h)`,`Último reparo` FROM falhas WHERE falhas.id_mecanismo='%s'" %tag)
result_falhas = c.fetchall()
print(f'\nAs falhas desse mecanismo podem ser:')
for c in result_falhas:
    print('Código do plano: ', c[0])
    print('Código da falha: ', c[1])
    print('Falha: ', c[2])
    print('Tempo referência para execução da prevenção (h): ', c[3])
    print('Último reparo: ', c[4])
    print('\n')
```

Fonte: Autoria própria (2022)

Consequentemente, depois de externadas as falhas ao operador, é requisitado que o mesmo indique qual o código de identificação da falha que é pretendido para averiguação da operação sugerida. A Figura 22 reflete como é expressado a parte para busca da operação.

Figura 22. Programação para busca de operação

```
#Encontrando a solução para o problema
falha = input('Digite o código da falha que deseja solucionar: ')
if c in result_falhas:
    c = conexao.cursor()
    c.execute("SELECT id_pm, id_falha, `quant HH`, `serviço`, `Tempo previsto (h)`, `descrição` FROM operações WHERE id_op = '%s'" %falha)
    result_op = c.fetchall()
    for c in result_op:
        print('Código do plano:', c[0])
        print('Código da falha: ', c[1])
        print('Quantidade HH: ', c[2])
        print('Setor de serviço: ', c[3])
        print('Tempo previsto (h): ', c[4])
        print('Operação a ser feita: ', c[5])
```

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir da inserção do código da falha, é criado um novo cursor para efetivar a apuração de qual operação é indicada para o código determinado, juntamente com informações vitais como tempo de serviço previsto, setor responsável e quantidade homem-hora. Devido ao fato de apresentar a ação proposta pelo plano de manutenção a fim de prevenir quebras, paradas indesejadas e indisponibilidade do maquinário, o objetivo é cumprido e será última tela exposta.

É importante citar que conforme ocorram novas observações é possível realizar atualizações ou inserção de novas informações no banco de dados existente no MySQL com pleno funcionamento do programa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A base para o estudo de caso foi o histórico de falhas de uma caldeira de biomassa presente no apêndice A do trabalho “Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando a análise de modo e efeito de falhas – FMEA: estudo de caso em uma indústria papelreira” do autor CORREIA, A. K. (2017), publicada pela UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Vale salientar que o fato do documento contemplar dados de 2014 a 2017 torna-o robusto e, por isso, uma ótima referência para designar medidas mitigadoras de falhas.

Com o histórico de falhas em mãos, houve a apuração dos índices de disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade da caldeira durante o período de observação do documento. Obteve-se 97,4% de disponibilidade e para um período de 25 horas, atingindo 99,75% de manutenibilidade e 85% de confiabilidade. Essa análise demonstrou que mesmo possuindo uma disponibilidade considerável, o ativo possui uma probabilidade alta de receber manutenção e ser recolocado em funcionamento e, para esse mesmo período, possui 85% de chance de exercer sua função requerida de maneira satisfatória.

Após isso, foi feita uma seleção de quais componentes seriam abordados para tornar o trabalho objetivo e factível. A partir disso, realizou-se a tratativa dos dados pretendendo identificar o tempo de referência para execução da manutenção, atribuído como 90% do TBF original no histórico de falhas, e a descrição das atividades que devem ser feitas para prevenção das falhas registradas.

A manutenção foi estipulada tendo em vista uma estratégia adequada para prolongamento da vida útil dos componentes, mitigando recursos humanos, materiais e financeiros. Todavia, essas atividades devem ser executadas conforme as especificações existentes na NR-13, garantindo segurança às operações, e podem ser efetuadas por um funcionário capacitado ou por intermédio de uma empresa terceira, ficando a critério da empresa. O Quadro 4 demonstra as informações do plano de manutenção proposto.

Quadro 5. Plano de manutenção proposto para os modos de falhas de cada componente

(Início)

| TAG | DESCRIÇÃO DA FALHA | TBF histórico de manutenção (h) | Tempo referência de manutenção (h) | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|-------------|---|---------------------------------|------------------------------------|---|
| 141-CAL-001 | Substituir portas da caldeira biomassa (problemas vedação) | 455 | 409 | Acompanhar temperatura da caldeira e verificar estado de conservação da vedação das portas |
| 141-CAL-001 | Substituir vedação da porta de alimentação da caldeira biomassa | 342 | 308 | Acompanhar temperatura da caldeira e verificar estado de conservação da vedação das portas |
| 141-VAL-003 | Vazamento na junta de válvula de descarga da caldeira biomassa | 143,7 | 129 | Inspeção nas juntas com ultrassom para detectar vazamentos e avaliar os componentes de vedação, realizando limpeza quando necessário |
| 141-VAL-003 | Troca de válvula 03 | 95,6 | 86 | Verificar estado de conservação (inspeção) e revisão geral da válvula durante parada da caldeira para teste hidrostático NR13 (se necessário) |
| 141-VAL-003 | Troca de junta e válvula de descarga da caldeira biomassa | 191,6 | 172 | Inspeção nas juntas com ultrassom para detectar vazamentos, avaliação dos componentes de vedação e limpeza quando necessário |
| 141-VAL-003 | Eliminar vazamento de vapor na válvula 03 de descarga | 21 | 19 | Verificar estado de conservação (inspeção) e revisão geral da válvula durante parada da caldeira para teste hidrostático NR13 (se necessário) |
| 141-VAL-002 | Trocar junta da válvula de descarga da caldeira | 70,3 | 63 | Verificar estado de conservação e presença de vazamento com utilização de técnicas preditivas adequadas |
| 141-VAL-002 | Trocar válvula de descarga 02 da caldeira bremer | 261,3 | 235 | Verificar estado de conservação (inspeção) e revisão geral da válvula durante parada da caldeira para teste hidrostático NR13 (se necessário) |
| 141-VAL-002 | Troca da válvula de descarga 02 | 595 | 535 | Verificar estado de conservação (inspeção) e revisão geral da válvula durante parada da caldeira para teste hidrostático NR13 (se necessário) |

(conclusão)

| TAG | DESCRIÇÃO DA FALHA | TBF histórico de manutenção (h) | Tempo referência de manutenção (h) | DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE |
|-------------|--|--|---|--|
| 141-BCE-025 | Curto no circuito elétrico da bomba de alimentação da caldeira | 502 | 452 | Verificar estado de conservação: oxidação, sujeira, fiação desencapada, umidade e limpeza se necessário |
| 141-LVP-001 | Eliminação de vazamento na linha de vapor | 94,2 | 85 | Inspeção com uso de técnicas preditivas para detectar vazamentos, limpar e avaliar o estado dos componentes |
| 141-LVP-001 | Eliminar vazamento de vapor na caldeira | 92,8 | 83 | Inspeção com uso de técnicas preditivas para detectar vazamentos, limpar e avaliar o estado dos componentes |
| 141-LVP-001 | Substituir juntas de vedação de vapor | 18,5 | 17 | Inspeção nas juntas com ultrassom para detectar vazamentos e avaliar os componentes de vedação, realizando limpeza quando necessário |

Fonte: Autoria própria (2022)

Para automatizar a consulta e agilizar a execução da tarefa, o banco de dados foi transferido para o MySQL, incrementado de algumas variáveis que contribuem para o acompanhamento do cronograma de manutenção. Posteriormente, atribuído a um programa especialista em Python que apresenta as informações de maneira clara e objetiva, auxiliando o gestor da manutenção. Para esclarecimento da programação é apresentado um modelo de consulta, simulando o operador. A Figura 20 ilustra a tela inicial e como exemplo será atribuída a TAG “141-BCE-025”, representando a bomba de água de alimentação da caldeira. Já a Figura 23 expõe as falhas para o mecanismo informado.

Figura 23. Falhas possíveis para a Bomba de água de alimentação da caldeira

```

PM - TAG - NOME
PM1 - 141-BCE-025 - Bomba de água de alimentação da caldeira
PM1 - 141-CAL-001 - Caldeira de biomassa
PM1 - 141-LVP-001 - Linha de vapor
PM1 - 141-VAL-002 - Válvula 2 de descarga de fundo
PM1 - 141-VAL-003 - Válvula 3 de descarga do fundo

```

```

Digite a TAG desejada no formato (000-XXX-000): 141-VAL-002
O sistema escolhido foi: Válvula 2 de descarga de fundo

```

As falhas desse mecanismo podem ser:

```

Código do plano: PM1
Código da falha: 6
Falha: TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA
Tempo referência pára execução da prevenção (h): 63
Último reparo: None

```

```

Código do plano: PM1
Código da falha: 7
Falha: TROCAR VÁLVULA DE DESCARGA 02 DA CALDEIRA
Tempo referência pára execução da prevenção (h): 235
Último reparo: None

```

Digite o código da falha que deseja solucionar:

Fonte: Autoria própria (2022)

São identificados dois modos de falha presentes no banco de dados para o elemento proposto, informando o plano de manutenção a qual cada um pertence, o código da falha, a descrição da falha, qual o tempo de referência de execução e quando foi realizado a última intervenção. Vale ressaltar que as informações com resultado “None” são equivalentes aos resultados “NULL” no MySQL e assim que operador acrescentar os valores no banco de dados as respostas serão atualizadas para a próxima pesquisa.

Dessa maneira, o usuário consegue observar de maneira clara e objetiva a cada quanto tempo deve-se executar a ação para prevenção da falha e quando aconteceu a inspeção mais recente. Presumindo que a falha para qual se deseja uma prevenção seja a de código “7”, tem-se a seguinte tela, conforme a Figura 24.

Figura 24. Operação proposta para falha de código “7”

```
Digite o código da falha que deseja solucionar: 7
Código do plano: PM1
Código da falha: 7
Quantidade HH: None
Setor de serviço: MEC
Tempo previsto (h): None
Operação a ser feita: VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO (INSPEÇÃO) E REVISÃO GERAL DA
VÁLVULA DURANTE PARADA DA CALDEIRA PARA TESTE HIDROSTÁTICO NR13 (SE NECESSÁRIO)
```

Fonte: Autoria própria (2022)

Nesta última tela são mantidas informações como plano de manutenção e código de falha que também estão presentes na tela anterior, mas são adicionadas informações específicas referentes à atividade, como quantidade homem-hora, setor responsável pelo serviço e tempo previsto, além da descrição da própria atividade. Assim, é possível designar a tarefa para o departamento correto de maneira ágil, solicitando que as informações no banco de dados sejam atualizadas após o término do serviço.

Todas as informações presentes no banco de dados podem ser alteradas sem prejuízo ao programa, dando liberdade ao usuário para incluir novas falhas, componentes, ações de manutenção, entre outros.

Assim obtém-se uma política de manutenção consistente e sempre atualizada conforme as condições operacionais do maquinário, propondo ações preventivas eficientes para evitar a ocorrência de falhas, melhorando os índices de disponibilidade,

manutenibilidade e confiabilidade para a caldeira. Para esclarecer como as informações aparecem na tela, um exemplo completo para a TAG "141-VAL-002" está presente na figura 25 para facilitar a compreensão.

Figura 25. Exemplo no Smart System para a TAG "141-VAL-002"

```

PM - TAG - NOME
PM1 - 141-BCE-025 - Bomba de água de alimentação da caldeira
PM1 - 141-CAL-001 - Caldeira
PM1 - 141-LVP-001 - Linha de vapor
PM1 - 141-VAL-002 - Válvula 2 de descarga de fundo
PM1 - 141-VAL-003 - Válvula 3 de descarga do fundo

Digite a TAG desejada no formato (000-XXX-000): 141-VAL-002
O sistema escolhido foi: Válvula 2 de descarga de fundo

As falhas desse mecanismo podem ser:
Código do plano: PM1
Código da falha: 6
Falha: TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA
Tempo referência pára execução da prevenção (h): 63
Último reparo: None

Código do plano: PM1
Código da falha: 7
Falha: TROCAR VÁLVULA DE DESCARGA 02 DA CALDEIRA
Tempo referência pára execução da prevenção (h): 235
Último reparo: None

Digite o código da falha que deseja solucionar: 6
Código do plano: PM1
Código da falha: 6
Quantidade HH: None
Setor de serviço: MEC
Tempo previsto (h): None
Operação a ser feita: VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO E PRESENÇA DE VAZAMENTO COM UTILIZAÇÃO
DE TÉCNICAS PREDITIVAS ADEQUADAS

Código do plano: PM1
Código da falha: 7
Quantidade HH: None
Setor de serviço: MEC
Tempo previsto (h): None
Operação a ser feita: VERIFICAR ESTADO DE CONSERVAÇÃO (INSPEÇÃO) E REVISÃO GERAL DA VÁLVULA
DURANTE PARADA DA CALDEIRA PARA TESTE HIDROSTÁTICO NR13 (SE NECESSÁRIO)

```

Fonte: Autoria própria (2022)

Dessa maneira, o modelo de plano de manutenção desenvolvido torna-se extremamente útil para o ambiente fabril e gerenciamento de ações.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise RAM em dados de uma caldeira apoiada com tecnologias da Indústria 4.0 para elaboração de um plano de manutenção de maneira ágil e com consulta automatizada.

A vista disso, foi apresentado o mapeamento do processo produtivo, conforme o trabalho de Correia (2017), descrevendo suas etapas e como a caldeira influencia os índices de produção, expondo a razão para se praticar uma manutenção preventiva no equipamento. Em seguida, a árvore funcional da caldeira apresenta seus subsistemas e componentes, auxiliando o entendimento e a função de cada parte.

Daí, as informações de TBF e TTR do histórico de falhas serviram de base para aplicação da análise RAM, tendo como resultado 97,4% de disponibilidade do ativo e, considerando um período de 25 horas, há 99,75% de chance do ativo passar por uma manutenção e voltar ao funcionamento com 85% de chance de a caldeira efetuar sua função requerida de maneira satisfatória.

Com isso, visando mitigar a ocorrência de falhas, o histórico foi tratado para reunir todas as falhas de cada componente durante o período de observação. Para execução do estudo, cinco componentes foram selecionados para serem usados como exemplo, com intuito de tornar o trabalho mais objetivo.

A partir daí, aplicou-se a convenção de que 90% do TBF apresentado no histórico de falhas seria o valor de referência para atuação de uma medida preventiva mantendo uma boa utilização dos componentes. A definição da ação a ser praticada em cada modo de falha se deu baseada em uma estratégia adequada para aprimorar e aumentar a vida útil do componente. Dentre as ações propostas estão: inspeções com ultrassom, avaliação e calibração de válvulas, inspeções e testes de elementos mecânicos e elétricos. Todas essas atividades passam a ter um cronograma definido, possibilitando uma redução nos gastos e melhora na produtividade.

Entretanto, para o ambiente industrial é vital que o funcionário não desperdice tempo em atividades básicas e para agilizar o processo de consulta ao banco de dados foi confeccionada sua automação por meio de ferramentas da Indústria 4.0. A implementação das informações em MySQL possibilita a integração de informações que estão em bases de dados diferentes e permite uma consulta direcionada, mas para isso é necessário conhecimento prévio sobre o procedimento a ser seguido.

Dessa maneira, ao construir um sistema especialista (*Smart system*) com o uso de MySQL e linguagem Python para automatização das buscas em vários bancos de dados do ativo industrial, é exigido apenas que o usuário informe qual item presente na tela ele deseja pesquisar. Assim, a consulta ao plano de manutenção não requer conhecimento em programação ou em MySQL, tornando o acesso democrático e útil para empresa.

Com isso, a prática rotineira do plano de manutenção proposto viabiliza uma melhoria no planejamento e gerenciamento das atividades de manutenção já que contém a estratégia apropriada para cada elemento, mitigando a ocorrência de falhas e contribuindo para índices de disponibilidade e de produção superiores aos atuais.

Por fim, o objetivo geral de aplicar a análise RAM e construir um plano de manutenção apoiado com ferramentas da Indústria 4.0 foi atingido, sendo a implementação em SQL e a automação em Python instrumentos diferenciais que visam diminuir a ocorrência de falha humana e dar agilidade tanto a construção quanto a consulta do plano de manutenção.

6.1. Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros propõe-se:

- A ampliação do plano de manutenção para todos os elementos presentes no ativo industrial.
- Aplicação do modelo de plano de manutenção proposto para outros ativos que impactam diretamente na produção, como os cilindros secadores.
- Fazer análise dos índices de manutenção e de produção para comprovar se as medidas propostas são eficazes.
- Inserção do sistema especialista (*Smart system*) desenvolvido em nuvem (*Cloud Computing*) para facilitar e expandir o seu uso. A inserção em nuvem visa aumentar disponibilidade do acesso, e também garantir a confiabilidade do sistema, reduzindo o custo do hardware.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462. Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ADONIS, Leonardo Cabral; ROCHA, Sullivan Matheus Santos. **Métodos multicritério e mecanismos de aprendizagem para suporte à tomada de decisão em manutenção industrial**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ALBERICHI, Mariano; SERTA, Roberto. **Estudo das Instalações e Operações de caldeira de uma Indústria do Estado do Paraná, sob ótica da NR-13 e NR-28**. 2013. Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

ALMEIDA, Paulo Samuel D. **Manutenção Mecânica Industrial – Princípios Técnicos e Operações**. São Paulo. Editora Saraiva, 2016.

AL-DOURI, Ahmad et al. Mitigation of operational failures via an economic framework of reliability, availability, and maintainability (RAM) during conceptual design. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 67, p. 104261, 2020.

AMINI KHOSHALAN, Hasel et al. RAM analysis of earth pressure balance tunnel boring machines: A case study. **International Journal of Mining and Geo-Engineering**, v. 49, n. 2, p. 173-185, 2015.

ASSIS, K. M. et al. Princípios da elaboração de um plano de manutenção industrial. *Exatas & Engenharias*, v. 5, n. 13, 2015.

BARBOSA, Rodolfo Emanuel et al. Desenvolvimento de um software para gerenciamento da manutenção de acordo com o método TPM. 2015.

BORLIDO, David José Araújo. Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção. 2017.

BRASIL, M. DO TRABALHO. **NR-13 - Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento**, 2019.

CORREIA, Anderson Kchecinski. **Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando a análise de modo e efeito de falhas – FMEA: estudo de caso em uma indústria papelreira**. 2017. Monografia em Tecnologia em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

BISCAIA, Ricardo V.; CORREIA, Anderson K.; KOVALESKI, João L.; Belinelli, Marjorie M.; BRAGHINI Jr., Aldo. Aplicação de um método integrado com técnicas AHP e Fuzzy SAW para ordenação dos riscos de modos e efeitos de falhas: estudo de caso em uma indústria de papel e celulose. VIII ConBRepro – Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa-PR, 2018.

CHOUDHARY, Devendra; TRIPATHI, Mayank; SHANKAR, Ravi. Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2019.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. Industrie 4.0: Hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

ELMASRI, Ramez et al. **SISTEMAS DE BANCO DE DADOS**. 4^a. ed. PEARSON Education do Brasil. 724 p. 2005.

FERNANDES NETO, Felipe. **Plano de lubrificação de caldeira à biomassa e de seu sistema de alimentação**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GAO, Kaiye et al. Jointly optimizing lot sizing and maintenance policy for a production system with two failure modes. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 202, p. 106996, 2020.

GONÇALVES, Hélder. **Gestão da manutenção na indústria 4.0**. 2020. Tese de Doutorado.

GREGÓRIO, Gabriela. P.; SILVEIRA, Aline. D. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.

HEREDIA-ZAVONI, Ernesto; CAMPOS, Dante; RAMÍREZ, Gallegher. Reliability based assessment of deck elevations for offshore jacket platforms. **J. Offshore Mech. Arct. Eng.**, v. 126, n. 4, p. 331-336, 2004.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Quality-mark, 2009.

KUMAR, Uday et al. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2013.

LASI, Heiner et al. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LAKATOS, Eva; MARCONI, Marina. **Metodologia do Trabalho Científico**. 9 ed. São Paulo: Atlas Ltda., 2021.

LOZADA, Gisele; NUNES, Karina. **Metodologia Científica**. 1 ed. São Paulo: Sagah Educação S.A., 2018

LUFT, André Luiz. **Dimensionamento térmico de uma caldeira mista**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LUNDGREN, Camilla; BOKRANTZ, Jon; SKOOGH, Anders. A strategy development process for Smart Maintenance implementation. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2021.

MARCIANO, Erica Moreira et al. INDÚSTRIA 4.0–INTEGRAÇÃO DE SISTEMA. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 1, p. 75-92, 2019.

MATIAS-PEREIRA, José. Manual de Metodologia da Pesquisa Científica. 4 ed. São Paulo: Atlas Ltda., 2016.

MOBLEY, R. Keith; MBB, CMRP. **Maintenance engineering handbook**. McGraw-Hill Education, 2014.

MUKADDES, Abul Mukid Mohammad; CHOWDHURY, Nazi Faisal Ahmed; UDDIN, Md Moin. A model for automatic preventive maintenance scheduling and an application database software. In: **Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**. 2010.

PANCHAL, Dilbagh et al. A new fuzzy methodology-based structured framework for RAM and risk analysis. **Applied Soft Computing**, v. 74, p. 242-254, 2019.

PATIL, Suyog S.; BEWOOR, Anand K.; PATIL, Rajkumar B. Availability Analysis of a Steam Boiler in Textile Process Industries Using Failure and Repair Data: A Case Study. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 021002, 2021.

PATIL, Suyog S; BEWOOR, Anand K. Reliability analysis of a steam boiler system by expert judgment method and best-fit failure model method: a new approach. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2020.

PEDRO, Evandro JP et al. Sistema eletrônico para monitorar a operação dos motores elétricas de indução na indústria. **ANALECTA - Centro Universitário Academia**, v. 6, n. 3, 2021.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

SADER, Sami; HUSTI, István; DARÓCZI, Miklós. Enhancing failure mode and effects analysis using auto machine learning: A case study of the agricultural machinery industry. **Processes**, v. 8, n. 2, p. 224, 2020.

SAINI, Monika; KUMAR, Ashish. Performance analysis of evaporation system in sugar industry using RAMD analysis. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 41, n. 4, p. 1-10, 2019.

SANTOS, Natália Souza dos et al. Planejamento e controle da manutenção na Indústria 4.0. 2019.

SELLMER, Danielle et al. Sistema especialista para apoiar a decisão na terapia tópica de úlceras venosas. **Revista Gaúcha de enfermagem**, v. 34, p. 154-162, 2013.

SHARMA, Rajiv Kumar; SHARMA, Pooja. Integrated framework to optimize RAM and cost decisions in a process plant. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 25, n. 6, p. 883-904, 2012.

SWANSON L., An information-processing model of maintenance management, **International Journal of Production Economics**, Volume 83, Issue 1, 2003, Pages 45-64.

TONI, Vinícius; COSTA, L; BOTELHO, Matheus; BELINELLI, M; RIGONI, M. Natural Language Processing (NLP) Algorithm Integrated with FMECA Analysis Applied in the Maintenance Plans Development to Power Generation System Assets. Proceedings of the 3 rd South American International Industrial Engineering and Operations Management – IEOM Conference, Asunción, Paraguay, July 19-21, 2022

TORRES JR, Rubião G.; MACHADO, Maria Augusta Soares; SOUZA, Reinaldo Castro. Previsão de séries temporais de falhas em Manutenção industrial usando redes neurais. **Engevista**, 2005.

TSAROUHAS, Panagiotis. Maintenance scheduling of a cheddar cheese manufacturing plant based on RAM analysis. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2021.

TSAROUHAS, Panagiotis. Reliability, availability and maintainability (RAM) analysis for wine packaging production line. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2018.

TSAROUHAS, Panagiotis. Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Study of an Ice Cream Industry. **Applied Sciences**, v. 10, n. 12, p. 4265, 2020.

TSAROUHAS, Panagiotis. Statistical analysis of failure data for estimating reliability, availability and maintainability of an automated croissant production line. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2019.

VELMURUGAN, Rama S.; DHINGRA, Tarun. Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework. **International Journal of Operations & Production Management**, 2015.

VIEIRA, Maiara et al. A aplicação de sistemas ciber-físicos (CPS) em sistemas de manufatura: um estudo bibliométrico. 2018

WAN, Jiafu et al. A manufacturing big data solution for active preventive maintenance. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 13, n. 4, p. 2039-2047, 2017.

YAZDI, Mohammad; SOLTANALI, Hamzeh. Knowledge acquisition development in failure diagnosis analysis as an interactive approach. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 13, n. 1, p. 193-210, 2019.

APÊNDICE A – PLANILHA COM HISTÓRICO DE FALHAS

Quadro 6. Dados no Excel

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|---|---------|---------|------------------------|-----|
| 20/08/2015 | 141-ABR-001 | 4017 | ELIMINAR VAZAMENTO NO ABRANDADOR 01 | 43,5 | 11 | SIM | |
| 24/02/2016 | 141-ABR-001 | 5903 | TROCAR ABRANDADOR-01 | 695 | 6,5 | SIM | |
| 27/02/2016 | 141-ABR-001 | 6147 | ELIMINAR VAZAMENTOS | 44,5 | 1,5 | SIM | |
| 27/04/2016 | 141-ABR-001 | 6664 | VERIFICAR DEFEITO NOS MANOMETROS DOS ABRANDADORES DA CALDEIRA | 110 | 4 | SIM | |
| 22/07/2017 | 141-ABR-001 | 11902 | MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE ABRANDADORES | 59 | 0,4 | SIM | |
| 23/07/2015 | 141-ABR-002 | 3736 | ELIMINAR VAZAMENTO DO ABRANDADOR 02 | 911,6 | 2 | SIM | |
| 24/02/2016 | 141-ABR-002 | 5904 | TROCAR ABRANDADOR - 02 | 7,9 | 2 | SIM | |
| 28/01/2015 | 141-BCE-024 | 1996 | TROCAR ACOPLAMENTO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 46,5 | 0,83 | | NÃO |
| 28/01/2015 | 141-BCE-024 | 2055 | MANUTENÇÃO CORRETIVA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BREMER | 19,6 | 8 | | NÃO |
| 29/04/2015 | 141-BCE-024 | 2701 | REVISAR MOTOR MOT-0049 | 645,5 | 8 | SIM | |
| 10/05/2017 | 141-BCE-025 | 11183 | CURTO NO CIRCUITO ELÉTRICO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 502 | 12,5 | SIM | |
| 15/03/2017 | 141-CAL-001 | 10240 | SUBSTITUIR PORTAS DA CALDEIRA BIOMASSA (PROBLEMAS VEDAÇÃO) | 455 | 18 | SIM | |
| 30/03/2017 | 141-CAL-001 | 10591 | SUBSTITUIR VEDAÇÃO DA PORTA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 342 | 2 | SIM | |
| 11/01/2017 | 141-CHA-001 | 9820 | SUBSTITUIR PARTE DO CHAMINÉ DA CALDEIRA BIOMASSA | 191,8 | 7,17 | SIM | |
| 15/04/2014 | 141-EST-001 | 246 | REGULAGEM NA BICA DE CAVACO CALDEIRA | 119 | 0,17 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|---|---------|---------|------------------------------|-----|
| 09/05/2014 | 141-EST-001 | 447 | TROCA DE ROLINHOS DA CORREIA DE CAVACO | 71,4 | 5 | | NÃO |
| 02/04/2015 | 141-EST-001 | 2647 | ESTICAR CORREIA TRANSPORTADORA 01 | 181,5 | 2,5 | | NÃO |
| 30/05/2015 | 141-EST-001 | 3192 | VERIFICAR PROBLEMA NO FIM DE CURSO DA CORREIA DE CAVACO 01 | 451 | 3,17 | | NÃO |
| 15/06/2015 | 141-EST-001 | 3433 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO | 8,7 | 2 | | NÃO |
| 05/09/2015 | 141-EST-001 | 4308 | VERIFICAR DESALINHAMENTO NA CORREIA 01 | 94 | 4 | | NÃO |
| 02/10/2015 | 141-EST-001 | 4605 | AJUSTE NO FIM DE CURSO DA CORREIA TRANSPORTADORA 01 E 02 | 87 | 9 | | NÃO |
| 14/10/2016 | 141-EST-001 | 8784 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS | 14,8 | 3 | | NÃO |
| 03/01/2017 | 141-EST-001 | 9790 | SUBSTITUIR ROLAMENTOS DOS ROLINHOS | 91,5 | 0,17 | | NÃO |
| 31/05/2017 | 141-EST-001 | 11219 | REVISAR ROLINHOS DA CORREIA TRANSPORTADORA 01 | 44 | 14 | | NÃO |
| 23/06/2017 | 141-EST-001 | 11599 | ALINHAR ROLO MOVIDO DA CORREIA 01 | 206 | 5 | | NÃO |
| 25/07/2017 | 141-EST-001 | 11912 | REVISAR ROLINHOS DA CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 71,6 | 2 | | NÃO |
| 30/09/2014 | 141-EST-002 | 1077 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 02 | 133 | 0,33 | | NÃO |
| 01/09/2015 | 141-EST-002 | 4112 | RECUPERAR PONTEIRA DO ROLO MOTRIZ DA CORREIA TRANSPORTADORA | 277 | 2 | | NÃO |
| 05/04/2016 | 141-EST-002 | 6175 | VERIFICAR VAZAMENTOS NO REDUTOR RED-0007 (CheckList CHK-CAL.) | 20,6 | 0,58 | | NÃO |
| 22/04/2016 | 141-EST-002 | 6617 | FAZER MANUT. NO REDUTOR RED-0007 | 68 | 10 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|--|---------|---------|------------------------|-----|
| 24/05/2016 | 141-EST-002 | 7007 | ADPTAÇÃO DE ACOPLAMENTO NO ROLO DA CORREIA TRANSPORTADORA 02 | 126 | 17,83 | | NÃO |
| 16/02/2017 | 141-EST-002 | 10195 | SUBSTITUIR CORREIA DE ACIONAMENTO | 46,2 | 12,5 | | NÃO |
| 08/06/2017 | 141-EST-002 | 11526 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO (B-48) 2 unid. | 178 | 3 | | NÃO |
| 14/06/2017 | 141-EST-002 | 11562 | REMOVER REDUTOR PARA REVISÃO | 44 | 10 | SIM | |
| 31/07/2014 | 141-EST-003 | 753 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA CORREIA TRANSPORTADORA DE ALIMENTAÇÃO DO SILO | 4,2 | 0,5 | | NÃO |
| 08/09/2015 | 141-EST-003 | 4128 | TROCAR ROLAMENTO DO ROLO MOTRIZ DA CORREIAS TRANSPORTADORAS 03 DA CALDEIRA | 68 | 6,5 | | NÃO |
| 05/10/2015 | 141-EST-003 | 4567 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA CORREIA TRANSPORTADORA 03 DA CALDEIRA DE BIOMASSA | 63 | 1 | | NÃO |
| 24/02/2016 | 141-EST-003 | 5906 | USINAR POLIA DA CORREIA TRANSPORTADORA-03 | 1 | 1 | SIM | |
| 13/05/2016 | 141-EST-003 | 6973 | COSTURAR CORREIA DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 03 | 188,5 | 3 | | NÃO |
| 07/06/2016 | 141-EST-003 | 7298 | FAZER MANUTENÇÃO NA CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 260 | 1,5 | | NÃO |
| 24/05/2017 | 141-EST-003 | 11244 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DE ACIONAMENTO | 280 | 1 | SIM | NÃO |
| 17/09/2014 | 141-ETJ-001 | 917 | TROCA DOS ESTOJOS DE SEGURANÇA DA FORNALHA | 5 | 4 | SIM | |
| 25/02/2016 | 141-ETJ-001 | 5893 | SUBSTITUIR ESTOJOS DE SEGURANÇA | 23 | 3,5 | SIM | |
| 16/03/2014 | 141-EXA-001 | 417 | DESARMOU DISJUNTOR DE COMANDO | 86 | 0,17 | SIM | |
| 10/04/2014 | 141-EXA-001 | 431 | SOLDAR PINOS DO DAMPER DO EXAUSTOR | 20,8 | 1 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|---|---------|---------|------------------------|-----|
| 13/06/2014 | 141-EXA-001 | 507 | TROCAR CORREIAS | 20 | 1,25 | SIM | |
| 04/09/2014 | 141-EXA-001 | 926 | TROCA DE ROLAMENTO DO EIXO DO EXAUSTOR DE TIRAGEM E TROCA DE POLI A DO EIXO | 15,2 | 9 | SIM | |
| 16/09/2014 | 141-EXA-001 | 927 | TROCA DO MOTOR DEVIDO A RUIDOS NO ROLAMENTO | 11,2 | 18 | SIM | |
| 17/09/2014 | 141-EXA-001 | 940 | TROCAR CORREIAS DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 670 | 1,17 | SIM | |
| 21/09/2014 | 141-EXA-001 | 1027 | TROCA DO MOTOR DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 16,5 | 2 | SIM | |
| 24/09/2014 | 141-EXA-001 | 1028 | RETIFICAR POLIAS | 70 | 11 | SIM | |
| 25/03/2015 | 141-EXA-001 | 2605 | INSTALAR PISTÃO DO DAMPER DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 215,1 | 10,5 | SIM | |
| 30/04/2015 | 141-EXA-001 | 2923 | REGULAR O POSICIONADOR DO DAMPER DO EXAUSTOR DA CALDEIRA DE BIOMASSA | 187 | 3 | | NÃO |
| 08/05/2015 | 141-EXA-001 | 2938 | REGULAR POSICIONADOR DO DAMPER DO EXAUSTOR DA CALDEIRA BIOMASSA | 16 | 5 | | NÃO |
| 31/12/2015 | 141-EXA-001 | 5217 | QUEIMOU MOTOR DO EXAUSTOR DA CALDEIRA | 332 | 6 | SIM | |
| 05/04/2016 | 141-EXA-001 | 6178 | VERIFICAR VIBRAÇÃO NO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 6 | 0,83 | | NÃO |
| 27/09/2016 | 141-EXA-001 | 8494 | SOLDAR CHAPA NO DUTO DE AR DO EXA-001 | 6,1 | 7,5 | SIM | |
| 24/02/2017 | 141-EXA-001 | 10253 | TENSIONAR CORREIA DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR DE TIRAGEM | 179,5 | 1 | | NÃO |
| 07/04/2017 | 141-EXA-001 | 10837 | SUBSTITUIR JOG O DE CORREIAS DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR | 190 | 1 | | |
| 26/01/2015 | 141-LAC-001 | 2044 | ELIMINAR VAZAMENTO DE AR NA LINHA DE AR COMPRIMIDO NA CALDEIRA BIOMASSA | 310,5 | 1,5 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|---|---------|---------|------------------------|-----|
| 12/03/2014 | 141-LCD-001 | 222 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO | 331,2 | 0,58 | | NÃO |
| 06/05/2014 | 141-LCD-001 | 346 | TROCAR TUBULAÇÃO DO CONDENSADO DA CALDEIRA | 23 | 10 | SIM | |
| 08/09/2014 | 141-LCD-001 | 959 | ELIMINAR VAZAMENTO DE CONDENSADO | 94,8 | 1 | | NÃO |
| 26/11/2014 | 141-LCD-001 | 1081 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA DESCARGA DE FUNDO | 524 | 12 | SIM | |
| 29/01/2015 | 141-LCD-001 | 2066 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA TUBULAÇÃO DE CONDENSADO | 16 | 3 | | NÃO |
| 09/06/2015 | 141-LCD-001 | 3229 | SOLDAR TUBULAÇÃO DO CONDENSADO DA CALDEIRA BIOMASSA | 166,5 | 2,42 | SIM | |
| 29/07/2015 | 141-LCD-001 | 3753 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA CALDEIRA BIOMASSA | 142 | 2 | | NÃO |
| 28/09/2015 | 141-LCD-001 | 4377 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA CALDEIRA | 287,5 | 9 | | NÃO |
| 17/06/2016 | 141-LCD-001 | 7350 | SOLDAR TUBO DE RETORNO DE CONDENSADO | 10 | 1,5 | SIM | |
| 30/12/2016 | 141-LCD-001 | 9575 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE VAPOR CONDENSADO | 23 | 4,5 | SIM | |
| 30/01/2017 | 141-LCD-001 | 9924 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE ENTRADA DE CONDENSADO DA CALDEIRA | 431,8 | 1,33 | SIM | |
| 19/07/2017 | 141-LCD-001 | 11893 | ELIMINAR VAZAMENTO DO TUBO DE CONDENSADO NA CALDEIRA BREMER | 18 | 13 | SIM | |
| 16/01/2014 | 141-LVP-001 | 129 | ELIMINAÇÃO DE VAZAMENTO NA LINHA DE VAPOR | 94,2 | 0,83 | SIM | |
| 11/03/2014 | 141-LVP-001 | 325 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA CALDEIRA | 92,8 | 1 | SIM | |
| 12/05/2017 | 141-LVP-001 | 11197 | SUBSTITUIR JUNTAS DE VEDAÇÃO DE VAPOR | 18,5 | 8 | SIM | |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|------|--|---------|---------|------------------------------|-----|
| 17/06/2014 | 141-MOE-001 | 515 | REGULAR BANDEJA DOSADORA DE CAVACO | 21,5 | 1 | | NÃO |
| 24/07/2014 | 141-MOE-001 | 724 | TROCAR CORREIAS DA ROSCA DA MOEGA DA CALDEIRA | 23,8 | 1 | | NÃO |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 928 | TROCAR CALHA DE SAÍDA DA MOEGA PARA CORREIA | 3,6 | 2 | SIM | |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 930 | TROCAR OS ROLAMENTOS DE ACIONAMENTO DA MOEGA | 2,3 | 6 | | NÃO |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 931 | TROCAR OS ROLAMENTOS DO REDUTOR DE ACIONAMENTO DA MOEGA | 1,7 | 7 | | NÃO |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 932 | TROCAR AS CORREIAS DO ACIONAMENTO DA ROSCA DA MOEGA (3 CORREIAS B-56) | 12,2 | 1 | | NÃO |
| 16/09/2015 | 141-MOE-001 | 4328 | TROCAR CORREIA DO REDUTOR DE ACIONAMENTO DA MOEGA | 185,5 | 0,5 | | NÃO |
| 16/03/2016 | 141-MOE-001 | 6264 | MANUTENÇÃO NA ROSCA DOSADORA DA MOEGA " CALDEIRA BIOMASSA" | 39 | 2 | SIM | |
| 22/03/2016 | 141-MOE-001 | 6302 | ESTICAR CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 142 | 3 | | NÃO |
| 27/05/2016 | 141-MOE-001 | 7028 | ELIMINAR VAZAMENTO DE CAVACO | 54 | 4 | | NÃO |
| 29/08/2016 | 141-MOE-001 | 8135 | SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA MOEGA MD/35 | 71 | 4 | | NÃO |
| 27/09/2016 | 141-MOE-001 | 8480 | SUBSTITUIR CALHA DA ROSCA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 185 | 11,5 | SIM | |
| 30/09/2016 | 141-MOE-001 | 8514 | SOLDAR BATEDOR NA ROSCA DA MOEGA MD/35 | 5,4 | 1,5 | | NÃO |
| 03/10/2016 | 141-MOE-001 | 8699 | MANUTENÇÃO NA BANDEJA DA MOEGA MD/35 | 70,5 | 6 | | NÃO |
| 10/10/2016 | 141-MOE-001 | 8756 | AJUSTAR BANDEIJA DOSADORA DA MOEGA MD/35 | 62,1 | 3,5 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|--|---------|---------|------------------------------|-----|
| 14/10/2016 | 141-MOE-001 | 8787 | SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA BANDEIJA | 9 | 0,75 | | NÃO |
| 14/02/2017 | 141-MOE-001 | 10173 | SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA MOEGA MD/35 | 11,5 | 5,5 | SIM | NÃO |
| 30/03/2017 | 141-MOE-001 | 10187 | SUBSTITUIR CONTACTOR DA MOEGA MD/35 | 358,7 | 1,83 | SIM | |
| 11/05/2017 | 141-MOE-001 | 10592 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTOS | 5,2 | 2 | | NÃO |
| 12/06/2017 | 141-MOE-001 | 11539 | SOLDAR BATENTE NO FIM DA ROSCA DA MOEGA | 0,4 | 4 | | NÃO |
| 27/03/2014 | 141-PEL-001 | 401 | DESARMOU DISJUNTOR DE COMANDO DA CALDEIRA | 263,8 | 0,33 | SIM | |
| 16/11/2015 | 141-PEL-001 | 4841 | TROCAR ELETROCALHAS DA CALDEIRA BIOMASSA | 766 | 1,17 | | NÃO |
| 21/10/2016 | 141-PEL-001 | 8820 | VERIFICAR ACIONAMENTO DAS CORREIAS TRANSPORTADORAS | 167,3 | 3,5 | | NÃO |
| 07/11/2016 | 141-PEL-001 | 8929 | SUBSTITUIR COMANDO AUTOMATICO DA BOMBA DO POÇO ARTESIANO | 257,3 | 3 | | NÃO |
| 09/11/2016 | 141-PEL-001 | 8958 | SUBSTITUIR DISJUNTOR COM MAL CONTATO | 45 | 3,5 | SIM | |
| 11/02/2014 | 141-PNE-001 | 158 | TROCAR CORREIAS DA PENEIRA DE DISCOS | 5,8 | 0,33 | | NÃO |
| 17/09/2014 | 141-PNE-001 | 999 | REVISAR PENEIRA DE DISCO | 12,6 | 18 | | NÃO |
| 22/10/2014 | 141-PNE-001 | 1299 | TROCAR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA | 378 | 8 | | NÃO |
| 23/12/2014 | 141-PNE-001 | 1727 | TROCA DE EIXO DE ACIONAMENTO DA PENEIRA | 503 | 5 | | NÃO |
| 11/05/2015 | 141-PNE-001 | 2949 | TROCAR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA | 69 | 5 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|--|---------|---------|------------------------|-----|
| 18/05/2016 | 141-PNE-001 | 6984 | TROCAR ROLAMENTOS DA PENEIRA DE DISCOS | 12 | 5 | | NÃO |
| 19/09/2016 | 141-PNE-001 | 8436 | SUBSTITUIR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCOS | 500 | 7 | | NÃO |
| 27/09/2016 | 141-PNE-001 | 8481 | FAZER MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS | 7,7 | 9 | | NÃO |
| 29/09/2016 | 141-PNE-001 | 8502 | MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS | 40,5 | 1,5 | | NÃO |
| 07/10/2016 | 141-PNE-001 | 8745 | MANUTENÇÃO ELÉTRICA NA PENEIRA DE DISCOS | 70,5 | 9,92 | | NÃO |
| 13/12/2016 | 141-PNE-001 | 9494 | MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS | 812,5 | 1 | SIM | |
| 08/06/2017 | 141-PNE-001 | 11529 | SUBSTITUIR ROLAMENTO | 4,2 | 7 | SIM | |
| 04/12/2015 | 141-PST-001 | 5122 | ELIMINAR VAZAMENTO NO PRESSOSTATO DA CALDEIRA BIOMASSA | 430,8 | 1 | SIM | |
| 26/01/2016 | 141-PST-001 | 5529 | ELIMINAR VAZAMENTO DO SIFÃO DO PRESOSTATO DA CALDEIRA | 618 | 1 | SIM | |
| 14/03/2016 | 141-PST-001 | 6325 | TROCAR PRESSOSTATO DA CALDEIRA BIOMASSA | 68,5 | 9 | SIM | |
| 18/09/2014 | 141-PSV-001 | 1006 | TROCA DE JUNTA DA VALVULA DE SEGURANÇA DA CALDEIRA BIOMASSA | 6 | 3 | SIM | |
| 04/11/2014 | 141-ROS-001 | 1537 | TROCAR ROLAMENTO DA ROSCA EXTRATORA DA PENEIRA DE DISCO | 160 | 1,5 | | NÃO |
| 02/12/2014 | 141-ROS-001 | 1654 | TROCAR CORREIA DA ROSCA DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA | 132 | 1 | | NÃO |
| 12/03/2015 | 141-ROS-001 | 2551 | TROCA DE CORREIA DE ACIONAMENTO DA ROSCA DE CAVACO DA PENEIRA DE DISCO | 406,8 | 1,33 | | NÃO |
| 15/06/2015 | 141-ROS-001 | 3432 | TROCA DE ROLAMENTOS DA ROSCA DA PENEIRA DE DISCO | 7,9 | 2,5 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|--|---------|---------|------------------------|-----|
| 05/04/2016 | 141-ROS-001 | 6174 | VAZAMENTOS NO REDUTOR RED-0004 (CheckList CHK-CAL.) | 332,5 | 0,5 | | NÃO |
| 15/04/2014 | 141-ROS-002 | 255 | MANUTENÇÃO DA ROSCA DOSADORA DA CALDEIRA | 3,4 | 2 | SIM | |
| 16/04/2014 | 141-ROS-002 | 258 | TROCAR BUCHA E ROLAMENTO NA ROSCA DOSADORA DA PENEIRA DE DISCO | 22 | 1,5 | | NÃO |
| 07/08/2014 | 141-ROS-002 | 806 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO | 23,7 | 2 | SIM | |
| 16/09/2014 | 141-ROS-002 | 918 | TROCAR CALHA DA ROSCA DOSADORA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 191 | 8 | SIM | |
| 17/09/2014 | 141-ROS-002 | 1017 | REVISAR REDUTOR DE ACIONAMENTO DA ROSCA DOSADORA | 23 | 7 | SIM | |
| 13/01/2015 | 141-ROS-002 | 1966 | AJUSTAR BANDEJA DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA | 497 | 2 | | NÃO |
| 16/03/2015 | 141-ROS-002 | 2578 | TROCAR CORREIA DA ROSCA DOSADORA DA CALDEIRA | 94,7 | 0,92 | SIM | |
| 09/06/2015 | 141-ROS-002 | 3411 | ELIMINAR VAZAMENTO DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO | 6,5 | 1,47 | | NÃO |
| 15/10/2015 | 141-ROS-002 | 4603 | TROCAR ACOPLAMENTO DE CORRENTE DA CALDEIRA BIOMASSA | 239 | 2 | | NÃO |
| 05/04/2016 | 141-ROS-002 | 6176 | VERIFICAR VAZAMENTO NO REDUTOR RED-0009 | 5,5 | 0,42 | | NÃO |
| 15/04/2016 | 141-ROS-002 | 6582 | SUBSTITUIR ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA BIOMASSA | 239,2 | 16,5 | | NÃO |
| 17/05/2016 | 141-ROS-002 | 6979 | TROCA DE ROSCA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 93 | 12 | SIM | |
| 18/05/2016 | 141-ROS-002 | 6985 | ENCHIMENTO DOS HELICOIDAIS DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO | 1,4 | 18 | | NÃO |
| 30/03/2017 | 141-ROS-002 | 10600 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO DA ROSCA DOSADORA | 2,8 | 2 | SIM | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|--|---------|---------|------------------------------|-----|
| 29/05/2017 | 141-ROS-002 | 11272 | SOLDA NO CILO DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 119 | 4 | | NÃO |
| 11/03/2016 | 141-ROS-004 | 6236 | DEFEITO ELÉTRICO NO MOTOR DA ROSCA DE CINZA 04 | 65 | 3,5 | | NÃO |
| 22/03/2016 | 141-TER-001 | 6304 | TROCAR TERMOMETRO DOS DUTOS DE AR DA CALDEIRA BIOMASSA | 5,9 | 3,5 | | NÃO |
| 16/06/2014 | 141-TNQ-001 | 521 | TROCA DA VALVULA SOLENOIDE DA CAIXA DÁGUA DA CALDEIRA (OBSTRUÇÃO E DEFEITO NAS JUNTAS) | 68,5 | 2,5 | | NÃO |
| 04/07/2014 | 141-TNQ-001 | 654 | FALHA DE ATUAÇÃO NO COMANDO DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA BIOMASSA | 1,3 | 2,67 | SIM | |
| 13/06/2014 | 141-TNQ-002 | 523 | REVISAR COMANDO ELETRICO DO CONTROLE DE NIVEL DE DÁGUA DA CALDEIRA | 18 | 3,5 | | NÃO |
| 20/06/2014 | 141-TNQ-002 | 530 | EFETUAR REPAROS NO COMANDO DO MOT-0049 | 71 | 2 | | NÃO |
| 12/06/2017 | 141-TNQ-002 | 11527 | ELIMINAR VAZAMENTO NO FLANGE DE ENTRADA DA CALDEIRA | 89 | 2 | SIM | |
| 07/08/2014 | 141-TNQ-003 | 818 | TROCAR VISOR DO TANQUE DO ABRANDADOR | 8,9 | 2 | | NÃO |
| 12/01/2014 | 141-TNQ-004 | 112 | CURTO CIRCUITO NO CABO DE SAIDA DO MOTOR QUEIMOU UM FUZIVEL | 143,7 | 1,85 | | NÃO |
| 17/06/2016 | 141-TNQ-004 | 7349 | TROCAR TUBO DE SEGURANÇA DA SAÍDA DO TANQUE DE DESCARGA DE FUNDO (TNQ-004) "CANALETA" | 238,5 | 2 | SIM | |
| 12/01/2017 | 141-TNQ-004 | 9840 | ELIMINAR VAZAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ESCOAMENTO DO TANQUE | 16,8 | 0,17 | SIM | |
| 03/01/2014 | 141-VAL-001 | 90 | VAZAMENTO NA VALVULA DE DESCARGA 01 DA CALDEIRA BIOMASSA | 71,2 | 0,33 | | NÃO |
| 06/01/2014 | 141-VAL-001 | 91 | TROCAR VALVULAS DE DESCARGA 01 DA CALDEIRA | 47,2 | 0,83 | | NÃO |
| 07/02/2014 | 141-VAL-001 | 138 | JUNTA DA VALVULA NUMERO 01 DA CALDEIRA BIOMASSA | 215,4 | 0,42 | | NÃO |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|-------|--|---------|---------|------------------------|-----|
| 02/06/2015 | 141-VAL-001 | 3207 | TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA | 68,8 | 1,5 | | NÃO |
| 12/08/2015 | 141-VAL-001 | 4004 | TROCAR JUNTA DA VÁLVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA 01 | 334 | 6,83 | | NÃO |
| 23/01/2014 | 141-VAL-002 | 151 | TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA | 70,3 | 0,33 | | NÃO |
| 15/07/2014 | 141-VAL-002 | 678 | TROCAR VÁLVULA DE DESCARGA 02 DA CALDEIRA BREMER | 261,3 | 0,42 | SIM | |
| 18/07/2017 | 141-VAL-002 | 11891 | TROCA DA VÁLVULA DE DESCARGA 02 | 595 | 6 | SIM | |
| 29/01/2014 | 141-VAL-003 | 145 | VAZAMENTO NA JUNTA DE VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA BIOMASSA | 143,7 | 0,58 | | NÃO |
| 11/02/2014 | 141-VAL-003 | 146 | TROCA DE VALVULA 03 | 95,6 | 2,33 | SIM | |
| 23/07/2014 | 141-VAL-003 | 713 | TROCA DE JUNTA E VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA BIOMASSA | 191,6 | 0,25 | SIM | |
| 30/01/2015 | 141-VAL-003 | 2065 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA VALVULA 03 DE DESCARGA | 21 | 0,5 | SIM | |
| 23/02/2015 | 141-VAL-005 | 2307 | TROCAR VALVULA DE DESCARGA 05 DA CALDEIRA | 575,5 | 1,25 | | NÃO |
| 30/09/2016 | 141-VAL-005 | 8508 | MANUTENÇÃO NAS VÁLVULAS DE DESCARGA 05 DE FUNDO DA CALDEIRA | 22,5 | 9 | SIM | |
| 19/04/2017 | 141-VAL-005 | 10892 | SUBSTITUIR JUNTA DE VEDAÇÃO DA VÁLVULA (05) | 287 | 2 | SIM | NÃO |
| 18/09/2014 | 141-VAP-001 | 1007 | TROCA DE JUNTA DA VALVULA PRINCIPAL | 4,5 | 5 | SIM | |
| 20/09/2014 | 141-VAP-001 | 1026 | TROCA DE VALVULAS DA CALDEIRA | 39 | 7,5 | SIM | |
| 17/12/2015 | 141-VAP-001 | 5156 | TROCAR JUNTA DA ENTRADA DE ÁGUA DA CALDEIRA BIOMASSA | 309,5 | 4 | SIM | |

(continua)

(continuação)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|------|---|---------|---------|------------------------|-----|
| 20/01/2014 | 141-VIN-001 | 137 | VAZAMENTO NO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA BIOMASSA | 311,7 | 0,25 | | NÃO |
| 24/02/2014 | 141-VIN-001 | 157 | TROCA DE JUNTA DO VISOR DA CALDEIRA | 95,2 | 1,67 | | NÃO |
| 07/03/2014 | 141-VIN-001 | 396 | VERIFICAR DEFEITO NO CONTROLADOR DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA DE BIOMASSA | 263,8 | 3,22 | SIM | |
| 12/06/2014 | 141-VIN-001 | 503 | TROCAR VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 811 | 4 | | NÃO |
| 04/07/2014 | 141-VIN-001 | 642 | MANUTENÇÃO NO VISOR DE NIVEL DA CAIXA D'ÁGUA | 70,5 | 3,5 | | NÃO |
| 31/07/2014 | 141-VIN-001 | 752 | TROCAR VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 167 | 3 | | NÃO |
| 06/08/2014 | 141-VIN-001 | 804 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA | 143,5 | 0,33 | SIM | |
| 18/09/2014 | 141-VIN-001 | 934 | VERIFICAR ELETRODOS DE NIVEL DE AGUA DA CALDEIRA BIOMASSA | 9,7 | 9 | SIM | |
| 04/11/2014 | 141-VIN-001 | 1538 | MODIFICAÇÃO DO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 4,7 | 4 | SIM | |
| 23/12/2014 | 141-VIN-001 | 1728 | TROCA DE UNIÃO DO VISOR DE NIVEL | 10,6 | 2 | SIM | |
| 15/06/2015 | 141-VIN-001 | 3431 | TROCAR JUNTA DO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 20,1 | 0,67 | | NÃO |
| 19/04/2016 | 141-VIN-001 | 6607 | TROCAR VISOR | 79,5 | 4 | | NÃO |
| 01/07/2014 | 141-VNT-001 | 628 | TROCA DOS CABOS DO MOTOR ELÉTRICO DO VENTILADOR PRIMÁRIO (DANIFICADOS) | 262 | 1,5 | | NÃO |
| 13/01/2015 | 141-VNT-001 | 1968 | TROCAR CORREIAS DO VENTILADOR DE AR PRIMÁRIO | 16,7 | 1,5 | SIM | |
| 05/05/2016 | 141-VNT-001 | 6698 | SUBSTITUIR RELÉ DE TEMPO DO VENTILADOR PRIMÁRIO | 188 | 3,5 | SIM | |

(continua)

(conclusão)

| DATA | TAG | OS | DESCRIÇÃO | TBF (h) | TTR (h) | INTERROMPE O PROCESSO? | |
|------------|-------------|------|--|---------|---------|------------------------|-----|
| 04/10/2016 | 141-VNT-001 | 8719 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DO VENTILADOR PRIMÁRIO DA CALDEIRA | 18 | 1,5 | SIM | |
| 06/10/2014 | 141-VRT-003 | 1151 | REVISÃO NO REDUTOR DA VALVULA ROTATIVA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 143,7 | 6 | | NÃO |
| 28/10/2014 | 141-VRT-003 | 1489 | REVISAR REDUTOR DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 136 | 8 | | NÃO |
| 18/08/2015 | 141-VRT-003 | 4063 | VÁLVULA ROTATIVA ESTAVA VIRANDO SÓ UM LADO | 137,2 | 4,47 | SIM | |
| 07/03/2016 | 141-VRT-003 | 6203 | RETIRAR E REVISAR REDUTOR DAS VALVULAS ROTATIVAS | 214,5 | 5 | | NÃO |
| 07/03/2016 | 141-VRT-003 | 6204 | ADAPTAR REDUTOR RED-0025 NO LUGAR DO RED-0012 | 1,2 | 7 | | NÃO |
| 08/03/2016 | 141-VRT-003 | 6211 | TROCAR MOTOR DA VALVULA ROTATIVA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 17 | 7 | SIM | |
| 27/07/2016 | 141-VRT-003 | 7786 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA | 958,5 | 1 | | NÃO |
| 27/09/2016 | 141-VRT-003 | 8493 | REMOVER VÁLVULAS ROTATIVAS 03 PARA REVISÃO | 3 | 15,5 | SIM | |
| 14/10/2016 | 141-VRT-003 | 8783 | FIXAR BASE DO REDUTOR | 92,5 | 2 | SIM | |
| 21/10/2016 | 141-VRT-003 | 8824 | TROCAR POLIA DO MOTOR DE 100 mm PARA 120 mm | 1,3 | 2,5 | SIM | |
| 27/10/2016 | 141-VRT-003 | 8859 | SUBSTITUIR POLIA DO MOTOR DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA-003 | 141,5 | 6,75 | | NÃO |
| 29/12/2016 | 141-VRT-003 | 9563 | SUBSTITUIR ACOPLAMENTO DA VALVULA ROTATIVA | 383 | 1 | SIM | |

Fonte: Autoria própria (2022)

**ANEXO A - HISTÓRICO DE FALHAS (2014 - 2017) OBTIDO DA MONOGRAFIA
“TRATAMENTO DE FALHAS DE UMA CALDEIRA DE BIOMASSA UTILIZANDO
A ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS – FMEA: ESTUDO DE CASO EM
UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA” DO AUTOR CORREIA, A. K. (2017)**

Tabela 2. Histórico de Falhas (2014 - 2017)

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (início) | |
|------------|-------------|-----|---|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 03/01/2014 | 141-VAL-001 | 91 | TROCAR VALVULAS DE DESCARGA 01 DA CALDEIRA | 47,2 | 0,83 | | X |
| 06/01/2014 | 141-VAL-001 | 90 | VAZAMENTO NA VALVULA DE DESCARGA 01 DA CALDEIRA BIOMASSA | 71,2 | 0,33 | | X |
| 12/01/2014 | 141-TNQ-004 | 112 | CURTO CIRCUITO NO CABO DE SAIDA DO MOTOR QUEIMOU UM FUZIVEL | 143,7 | 1,85 | | X |
| 16/01/2014 | 141-LVP-001 | 129 | ELIMINAÇÃO DE VAZAMENTO NA LINHA DE VAPOR | 94,2 | 0,83 | X | |
| 20/01/2014 | 141-VIN-001 | 157 | TROCA DE JUNTA DO VISOR DA CALDEIRA | 95,2 | 1,67 | | X |
| 23/01/2014 | 141-VAL-002 | 151 | TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA | 70,3 | 0,33 | | X |
| 29/01/2014 | 141-VAL-003 | 145 | VAZAMENTO NA JUNTA DE VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA BIOMASSA | 143,7 | 0,58 | | X |
| 07/02/2014 | 141-VAL-001 | 138 | JUNTA DA VALVULA NUMERO 01 DA CALDEIRA BIOMASSA | 215,4 | 0,42 | | X |
| 11/02/2014 | 141-VAL-003 | 146 | TROCA DE VALVULA 03 | 95,6 | 2,33 | X | |
| 11/02/2014 | 141-PNE-001 | 158 | TROCAR CORREIAS DA PENEIRA DE DISCOS | 5,8 | 0,33 | | X |
| 24/02/2014 | 141-VIN-001 | 137 | VAZAMENTO NO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA BIOMASSA | 311,7 | 0,25 | | X |
| 07/03/2014 | 141-VIN-001 | 396 | VERIFICAR DEFEITO NO CONTROLADOR DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA DE BIOMASSA | 263,8 | 3,22 | X | |
| 11/03/2014 | 141-LVP-001 | 325 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA CALDEIRA | 92,8 | 1,00 | X | |
| 12/03/2014 | 141-LCD-001 | 346 | TROCAR TUBULAÇÃO DO CONDENSADO DA CALDEIRA | 23,0 | 10,00 | X | |
| 16/03/2014 | 141-EXA-001 | 417 | DESARMOU DISJUNTOR DE COMANDO | 86,0 | 0,17 | X | |
| 27/03/2014 | 141-PEL-001 | 401 | DESARMOU DISJUNTOR DE COMANDO DA CALDEIRA | 263,8 | 0,33 | X | |
| 10/04/2014 | 141-EXA-001 | 431 | SOLDAR PINOS DO DAMPER DO EXAUSTOR | 20,8 | 1,00 | | X |
| 15/04/2014 | 141-EST-001 | 246 | REGULAGEM NA BICA DE CAVACO CALDEIRA | 119,0 | 0,17 | | X |
| 15/04/2014 | 141-ROS-002 | 255 | MANUTENÇÃO DA ROSCA DOSADORA DA CALDEIRA | 3,4 | 2,00 | X | |
| 16/04/2014 | 141-ROS-002 | 258 | TROCAR BUCHA E ROLAMENTO NA ROSCA DOSADORA DA PENEIRA DE DISCO | 22,0 | 1,50 | | X |
| 06/05/2014 | 141-LCD-001 | 222 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO | 331,2 | 0,58 | | X |

(continua)

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (continuação) | |
|------------|-------------|-----|--|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 09/05/2014 | 141-EST-001 | 447 | TROCA DE ROLINHOS DA CORREIA DE CAVACO | 71,4 | 5,00 | | X |
| 12/06/2014 | 141-VIN-001 | 503 | TROCAR VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 811,0 | 4,00 | | X |
| 13/06/2014 | 141-EXA-001 | 507 | TROCAR CORREIAS | 20,0 | 1,25 | X | |
| 13/06/2014 | 141-TNQ-002 | 523 | REVISAR COMANDO ELETRICO DO CONTROLE DE NIVEL DE DÁGUA DA CALDEIRA | 18,0 | 3,50 | | X |
| 16/06/2014 | 141-TNQ-001 | 521 | FAZER MANUTENÇÃO NA VALVULA SOLENOIDE DA CAIXA DÁGUA DA CALDEIRA | 68,5 | 2,50 | | X |
| 17/06/2014 | 141-MOE-001 | 515 | REGULAR BANDEJA DOSADORA DE CAVACO | 21,5 | 1,00 | | X |
| 20/06/2014 | 141-TNQ-002 | 530 | EFETUAR REPAROS NO COMANDO DO MOT-0049 | 71,0 | 2,00 | | X |
| 01/07/2014 | 141-VNT-001 | 628 | MANUTENÇÃO NOS CABOS DO MOTOR ELÉTRICO DO VENTILADOR PRIMÁRIO | 262,0 | 1,50 | | X |
| 04/07/2014 | 141-VIN-001 | 642 | MANUTENÇÃO NO VISOR DE NIVEL DA CAIXA DÁGUA | 70,5 | 3,50 | | X |
| 04/07/2014 | 141-TNQ-001 | 654 | FAZER MANUTENÇÃO NO COMANDO DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA BIOMASSA | 1,3 | 2,67 | X | |
| 15/07/2014 | 141-VAL-002 | 678 | TROCAR VÁLVULA DE DESCARGA 02 DA CALDEIRA BREMER | 261,3 | 0,42 | X | |
| 23/07/2014 | 141-VAL-003 | 713 | TROCA DE JUNTA E VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA BIOMASSA | 191,6 | 0,25 | X | |
| 24/07/2014 | 141-MOE-001 | 724 | TROCAR CORREIAS DA ROSCA DA MOEGA DA CALDEIRA | 23,8 | 1,00 | | X |
| 31/07/2014 | 141-VIN-001 | 752 | TROCAR VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 167,0 | 3,00 | | X |
| 31/07/2014 | 141-EST-003 | 753 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA CORREIA TRANSPORTADORA DE ALIMENTAÇÃO DO SILO | 4,2 | 0,50 | | X |
| 06/08/2014 | 141-VIN-001 | 804 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA | 143,5 | 0,33 | X | |
| 07/08/2014 | 141-ROS-002 | 806 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO | 23,7 | 2,00 | X | |
| 07/08/2014 | 141-TNQ-003 | 818 | TROCAR VISOR DO TANQUE DO ABRANDADOR | 8,9 | 2,00 | | X |
| 04/09/2014 | 141-EXA-001 | 940 | TROCAR CORREIAS DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 670,0 | 1,17 | X | |
| 08/09/2014 | 141-LCD-001 | 959 | ELIMINAR VAZAMENTO DE CONDENSADO | 94,8 | 1,00 | | X |
| 16/09/2014 | 141-ROS-002 | 918 | TROCAR CALHA DA ROSCA DOSADORA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 191,0 | 8,00 | X | |
| 16/09/2014 | 141-EXA-001 | 927 | TROCA DO MOTOR DEVIDO A RUIDOS NO ROLAMENTO | 11,2 | 18,00 | X | |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 928 | TROCAR CALHA DE SAÍDA DA MOEGA PARA CORREIA | 3,6 | 2,00 | X | |

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (continuação) | |
|------------|-------------|------|---|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 930 | TROCAR OS ROLAMENTOS DE ACIONAMENTO DA MOEGA | 2,3 | 6,00 | | X |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 931 | TROCAR OS ROLAMENTOS DO REDUTOR DE ACIONAMENTO DA MOEGA | 1,7 | 7,00 | | X |
| 16/09/2014 | 141-MOE-001 | 932 | TROCAR AS CORREIAS DO ACIONAMENTO DA ROSCA DA MOEGA (3 CORREIAS B-56) | 12,2 | 1,00 | | X |
| 17/09/2014 | 141-ROS-002 | 1017 | REVISAR REDUTOR DE ACIONAMENTO DA ROSCA DOSADORA | 23,0 | 7,00 | X | |
| 17/09/2014 | 141-ETJ-001 | 917 | TROCA DOS ESTOJOS DE SEGURANÇA DA FORNALHA | 5,0 | 4,00 | X | |
| 17/09/2014 | 141-EXA-001 | 926 | TROCA DE ROLAMENTO DO EIXO DO EXAUSTOR DE TIRAGEM E TROCA DE POLI A DO EIXO | 15,2 | 9,00 | X | |
| 17/09/2014 | 141-PNE-001 | 999 | REVISAR PENEIRA DE DISCO | 12,6 | 18,00 | | X |
| 18/09/2014 | 141-PSV-001 | 1006 | TROCA DE JUNTA DA VALVULA DE SEGURANÇA DA CALDEIRA BIOMASSA | 6,0 | 3,00 | X | |
| 18/09/2014 | 141-VAP-001 | 1007 | TROCA DE JUNTA DA VALVULA PRINCIPAL | 4,5 | 5,00 | X | |
| 18/09/2014 | 141-VIN-001 | 934 | VERIFICAR ELETRODOS DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA BIOMASSA | 9,7 | 9,00 | X | |
| 20/09/2014 | 141-VAP-001 | 1026 | TROCA DE VALVULAS DA CALDEIRA | 39,0 | 7,50 | X | |
| 21/09/2014 | 141-EXA-001 | 1027 | TROCA DO MOTOR DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 16,5 | 2,00 | X | |
| 24/09/2014 | 141-EXA-001 | 1028 | RETIFICAR POLIAS | 70,0 | 11,00 | X | |
| 30/09/2014 | 141-EST-002 | 1077 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 02 | 133,0 | 0,33 | | X |
| 06/10/2014 | 141-VRT-003 | 1151 | REVISÃO NO REDUTOR DA VALVULA ROTATIVA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 143,7 | 6,00 | | X |
| 22/10/2014 | 141-PNE-001 | 1299 | TROCAR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA | 378,0 | 8,00 | | X |
| 28/10/2014 | 141-VRT-003 | 1489 | REVISAR REDUTOR DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 136,0 | 8,00 | | X |
| 04/11/2014 | 141-ROS-001 | 1537 | TROCAR ROLAMENTO DA ROSCA EXTRATORA DA PENEIRA DE DISCO | 160,0 | 1,50 | | X |
| 04/11/2014 | 141-VIN-001 | 1538 | MODIFICAÇÃO DO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 4,7 | 4,00 | X | |
| 26/11/2014 | 141-LCD-001 | 1081 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA DESCARGA DE FUNDO | 524,0 | 12,00 | X | |
| 02/12/2014 | 141-ROS-001 | 1654 | TROCAR CORREIA DA ROSCA DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA | 132,0 | 1,00 | | X |
| 23/12/2014 | 141-PNE-001 | 1727 | TROCA DE EIXO DE ACIONAMENTO DA PENEIRA | 503,0 | 5,00 | | X |
| 23/12/2014 | 141-VIN-001 | 1728 | TROCA DE UNIÃO DO VISOR DE NIVEL | 10,6 | 2,00 | X | |

(continuação)
Máq. Parada

Histórico de Falhas 2014 -2017

| <i>Data</i> | <i>TAG</i> | <i>Os</i> | <i>Descrição da O.S</i> | <i>TBF</i> | <i>TTR</i> | <i>SIM</i> | <i>NÃO</i> |
|-------------|-------------|-----------|---|------------|------------|------------|------------|
| 13/01/2015 | 141-ROS-002 | 1966 | AJUSTAR BANDEJA DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA | 497,0 | 2,00 | | X |
| 13/01/2015 | 141-VNT-001 | 1968 | TROCAR CORREIAS DO VENTILADOR DE AR PRIMÁRIO | 16,7 | 1,50 | X | |
| 26/01/2015 | 141-LAC-001 | 2044 | ELIMINAR VAZAMENTO DE AR NA LINHA DE AR COMPRIMIDO NA CALDEIRA BIOMASSA | 310,5 | 1,50 | | X |
| 28/01/2015 | 141-BCE-024 | 1996 | TROCAR ACOPLAMENTO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 46,5 | 0,83 | | X |
| 28/01/2015 | 141-BCE-024 | 2055 | MANUTENÇÃO CORRETIVA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BREMER | 19,6 | 8,00 | | X |
| 29/01/2015 | 141-LCD-001 | 2066 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA TUBULAÇÃO DE CONDENSADO | 16,0 | 3,00 | | X |
| 30/01/2015 | 141-VAL-003 | 2065 | ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA VALVULA 03 DE DESCARGA | 21,0 | 0,50 | X | |
| 23/02/2015 | 141-VAL-005 | 2307 | TROCAR VALVULA DE DESCARGA 05 DA CALDEIRA | 575,5 | 1,25 | | X |
| 12/03/2015 | 141-ROS-001 | 2551 | TROCA DE CORREIA DE ACIONAMENTO DA ROSCA DE CAVACO DA PENEIRA DE DISCO | 406,8 | 1,33 | | X |
| 16/03/2015 | 141-ROS-002 | 2578 | TROCAR CORREIA DA ROSCA DOSADORA DA CALDEIRA | 94,7 | 0,92 | X | |
| 25/03/2015 | 141-EXA-001 | 2605 | INSTALAR PISTÃO DO DAMPER DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 215,1 | 10,50 | X | |
| 02/04/2015 | 141-EST-001 | 2647 | ESTICAR CORREIA TRANSPORTADORA 01 | 181,5 | 2,50 | | X |
| 29/04/2015 | 141-BCE-024 | 2701 | REVISAR MOTOR MOT-0049 | 645,5 | 8,00 | X | |
| 30/04/2015 | 141-EXA-001 | 2938 | REGULAR POSICIONADOR DO DAMPER DO EXAUSTOR DA CALDEIRA BIOMASSA | 16,0 | 5,00 | | X |
| 08/05/2015 | 141-EXA-001 | 2923 | REGULAR O POSICIONADOR DO DAMPER DO EXAUSTOR DA CALDEIRA DE BIOMASSA | 187,0 | 3,00 | | X |
| 11/05/2015 | 141-PNE-001 | 2949 | TROCAR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA | 69,0 | 5,00 | | X |
| 30/05/2015 | 141-EST-001 | 3192 | VERIFICAR PROBLEMA NO FIM DE CURSO DA CORREIA DE CAVACO 01 | 451,0 | 3,17 | | X |
| 02/06/2015 | 141-VAL-001 | 3207 | TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA | 68,8 | 1,50 | | X |
| 09/06/2015 | 141-LCD-001 | 3229 | SOLDAR TUBULAÇÃO DO CONDENSADO DA CALDEIRA BIOMASSA | 166,5 | 2,42 | X | |
| 09/06/2015 | 141-ROS-002 | 3411 | ELIMINAR VAZAMENTO DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO | 6,5 | 1,47 | | X |
| 15/06/2015 | 141-VIN-001 | 3431 | TROCAR JUNTA DO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA | 20,1 | 0,67 | | X |
| 15/06/2015 | 141-ROS-001 | 3432 | TROCA DE ROLAMENTOS DA ROSCA DA PENEIRA DE DISCO | 7,9 | 2,50 | | X |
| 15/06/2015 | 141-EST-001 | 3433 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO | 8,7 | 2,00 | | X |

(continua)

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (continuação) | |
|------------|-------------|------|--|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 23/07/2015 | 141-ABR-002 | 3736 | ELIMINAR VAZAMENTO DO ABRANDADOR 02 | 911,6 | 2,00 | X | |
| 29/07/2015 | 141-LCD-001 | 3753 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA CALDEIRA BIOMASSA | 142,0 | 2,00 | | X |
| 12/08/2015 | 141-VAL-001 | 4004 | TROCAR JUNTA DA VÁLVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA 01 | 334,0 | 6,83 | | X |
| 18/08/2015 | 141-VRT-003 | 4063 | VÁLVULA ROTATIVA ESTAVA VIRANDO SÓ UM LADO | 137,2 | 4,47 | X | |
| 20/08/2015 | 141-ABR-001 | 4017 | ELIMINAR VAZAMENTO NO ABRANDADOR 01 | 43,5 | 11,00 | X | |
| 01/09/2015 | 141-EST-002 | 4112 | RECUPERAR PONTEIRA DO ROLO MOTRIZ DA CORREIA TRANSPORTADORA | 277,0 | 2,00 | | X |
| 05/09/2015 | 141-EST-001 | 4308 | VERIFICAR DESALINHAMENTO NA CORREIA 01 | 94,0 | 4,00 | | X |
| 08/09/2015 | 141-EST-003 | 4128 | TROCAR ROLAMENTO DO ROLO MOTRIZ DA CORREIAS TRANSPORTADORAS 03 | 68,0 | 6,50 | | X |
| 16/09/2015 | 141-MOE-001 | 4328 | TROCAR CORREIA DO REDUTOR DE ACIONAMENTO DA MOEGA | 185,5 | 0,50 | | X |
| 28/09/2015 | 141-LCD-001 | 4377 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA CALDEIRA | 287,5 | 9,00 | | X |
| 02/10/2015 | 141-EST-001 | 4605 | AJUSTE NO FIM DE CURSO DA CORREIA TRANSPORTADORA 01 E 02 | 87,0 | 9,00 | | X |
| 05/10/2015 | 141-EST-003 | 4567 | TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA CORREIA TRANSPORTADORA 03 DA CALDEIRA | 63,0 | 1,00 | | X |
| 15/10/2015 | 141-ROS-002 | 4603 | TROCAR ACOPLAMENTO DE CORRENTE DA CALDEIRA BIOMASSA | 239,0 | 2,00 | | X |
| 16/11/2015 | 141-PEL-001 | 4841 | TROCAR ELETROCALHAS DA CALDEIRA BIOMASSA | 766,0 | 1,17 | | X |
| 04/12/2015 | 141-PST-001 | 5122 | ELIMINAR VAZAMENTO NO PRESSOSTATO DA CALDEIRA BIOMASSA | 430,8 | 1,00 | X | |
| 17/12/2015 | 141-VAP-001 | 5156 | TROCAR JUNTA DA ENTRADA DE ÁGUA DA CALDEIRA BIOMASSA | 309,5 | 4,00 | X | |
| 31/12/2015 | 141-EXA-001 | 5217 | QUEIMOU MOTOR DO EXAUSTOR DA CALDEIRA | 332,0 | 6,00 | X | |
| 26/01/2016 | 141-PST-001 | 5529 | ELIMINAR VAZAMENTO DO SIFÃO DO PRESOSTATO DA CALDEIRA | 618,0 | 1,00 | X | |
| 24/02/2016 | 141-ABR-001 | 5903 | TROCAR ABRANDADOR-01 | 695,0 | 6,50 | X | |
| 24/02/2016 | 141-ABR-002 | 5904 | TROCAR ABRANDADOR -02 | 7,9 | 2,00 | X | |
| 24/02/2016 | 141-EST-003 | 5906 | USINAR POLIA DA CORREIA TRANSPORTADORA-03 | 1,0 | 1,00 | X | |
| 25/02/2016 | 141-ETJ-001 | 5893 | SUBSTITUIR ESTOJOS DE SEGURANÇA | 23,0 | 3,50 | X | |
| 27/02/2016 | 141-ABR-001 | 6147 | ELIMINAR VAZAMENTOS | 44,5 | 1,50 | X | |
| 07/03/2016 | 141-VRT-003 | 6203 | RETIRAR E REVISAR REDUTOR DAS VALVULAS ROTATIVAS | 214,5 | 5,00 | | X |

(continua)

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (continuação) | |
|------------|-------------|------|--|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 07/03/2016 | 141-VRT-003 | 6204 | ADAPTAR REDUTOR RED-0025 NO LUGAR DO RED-0012 | 1,2 | 7,00 | | X |
| 08/03/2016 | 141-VRT-003 | 6211 | TROCAR MOTOR DA VALVULA ROTATIVA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 17,0 | 7,00 | X | |
| 11/03/2016 | 141-ROS-004 | 6236 | DEFEITO ELÉTRICO NO MOTOR DA ROSCA DE CINZA 04 | 65,0 | 3,50 | | X |
| 14/03/2016 | 141-PST-001 | 6325 | TROCAR PRESSOSTATO DA CALDEIRA BIOMASSA | 68,5 | 9,00 | X | |
| 16/03/2016 | 141-MOE-001 | 6264 | MANUTENÇÃO NA ROSCA DOSADORA DA MOEGA " CALDEIRA BIOMASSA" | 39,0 | 2,00 | X | |
| 22/03/2016 | 141-MOE-001 | 6302 | ESTICAR CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 142,0 | 3,00 | | X |
| 22/03/2016 | 141-TER-001 | 6304 | TROCAR TERMOMETRO DOS DUTOS DE AR DA CALDEIRA BIOMASSA | 5,9 | 3,50 | | X |
| 05/04/2016 | 141-ROS-001 | 6174 | VAZAMENTOS NO REDUTOR RED-0004 (CheckList CHK-CAL.) | 332,5 | 0,50 | | X |
| 05/04/2016 | 141-EST-002 | 6175 | VERIFICAR VAZAMENTOS NO REDUTOR RED-0007 (CheckList CHK-CAL.) | 20,6 | 0,58 | | X |
| 05/04/2016 | 141-ROS-002 | 6176 | VERIFICAR VAZAMENTONO REDUTOR RED-0009 | 5,5 | 0,42 | | X |
| 05/04/2016 | 141-EXA-001 | 6178 | VERIFICAR VIBRAÇÃO NO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA | 6,0 | 0,83 | | X |
| 15/04/2016 | 141-ROS-002 | 6582 | SUBSTITUIR ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA BIOMASSA | 239,2 | 16,50 | | X |
| 19/04/2016 | 141-VIN-001 | 6607 | TROCAR VISOR | 79,5 | 4,00 | | X |
| 22/04/2016 | 141-EST-002 | 6617 | FAZER MANUT. NO REDUTOR RED-0007 | 68,0 | 10,00 | | X |
| 27/04/2016 | 141-ABR-001 | 6664 | VERIFICAR DEFEITO NOS MANOMETROS DOS ABRANDADORES DA CALDEIRA | 110,0 | 4,00 | X | |
| 05/05/2016 | 141-VNT-001 | 6698 | SUBSTITUIR RELÉ DE TEMPO DO VENTILADOR PRIMÁRIO | 188,0 | 3,50 | X | |
| 13/05/2016 | 141-EST-003 | 6973 | COSTURAR CORREIA DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 03 | 188,5 | 3,00 | | X |
| 17/05/2016 | 141-ROS-002 | 6979 | TROCA DE ROSCA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 93,0 | 12,00 | X | |
| 18/05/2016 | 141-PNE-001 | 6984 | TROCAR ROLAMENTOS DA PENEIRA DE DISCOS | 12,0 | 5,00 | | X |
| 18/05/2016 | 141-ROS-002 | 6985 | ENCHIMENTO DOS HELICOIDAIS DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO | 1,4 | 18,00 | | X |
| 24/05/2016 | 141-EST-002 | 7007 | ADPTAÇÃO DE ACOPLAMENTO NO ROLO DA CORREIA TRANSPORTADORA 02 | 126,0 | 17,83 | | X |
| 27/05/2016 | 141-MOE-001 | 7028 | ELIMINAR VAZAMENTO DE CAVACO | 54,0 | 4,00 | | X |
| 07/06/2016 | 141-EST-003 | 7298 | FAZER MANUTENÇÃO NA CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 260,0 | 1,50 | | X |
| 17/06/2016 | 141-TNQ-004 | 7349 | TROCAR TUBO DE SEGURANÇA DA SAÍDA DO TANQUE DE DESCARGA "CANALETA" | 238,5 | 2,00 | X | |

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (continuação) | |
|------------|-------------|------|--|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 17/06/2016 | 141-LCD-001 | 7350 | SOLDAR TUBO DE RETORNO DE CONDENSADO | 10,0 | 1,50 | X | |
| 27/07/2016 | 141-VRT_003 | 7786 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA | 958,5 | 1,00 | | X |
| 29/08/2016 | 141-MOE-001 | 8135 | SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA MOEGA MD/35 | 71,0 | 4,00 | | X |
| 19/09/2016 | 141-PNE-001 | 8436 | SUBSTITUIR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCOS | 500,0 | 7,00 | | X |
| 27/09/2016 | 141-MOE-001 | 8480 | SUBSTITUIR CALHA DA ROSCA TRANSPORTADORA DE CAVACO | 185,0 | 11,50 | X | |
| 27/09/2016 | 141-PNE-001 | 8481 | FAZER MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS | 7,7 | 9,00 | | X |
| 27/09/2016 | 141-VRT-003 | 8493 | REMOVER VÁLVULAS ROTATIVAS 03 PARA REVISÃO | 3,0 | 15,50 | X | |
| 27/09/2016 | 141-EXA-001 | 8494 | SOLDAR CHAPA NO DUTO DE AR DO EXA-001 | 6,1 | 7,50 | X | |
| 29/09/2016 | 141-PNE-001 | 8502 | MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS | 40,5 | 1,50 | | X |
| 30/09/2016 | 141-VAL-005 | 8508 | MANUTENÇÃO NAS VÁLVULAS DE DESCARGA 05 DE FUNDO DA CALDEIRA | 22,5 | 9,00 | X | |
| 30/09/2016 | 141-MOE-001 | 8514 | SOLDAR BATEDOR NA ROSCA DA MOEGA MD/35 | 5,4 | 1,50 | | X |
| 03/10/2016 | 141-MOE-001 | 8699 | MANUTENÇÃO NA BANDEJA DA MOEGA MD/35 | 70,5 | 6,00 | | X |
| 04/10/2016 | 141-VNT-001 | 8719 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DO VENTILADOR PRIMÁRIO DA CALDEIRA | 18,0 | 1,50 | X | |
| 07/10/2016 | 141-PNE-001 | 8745 | MANUTENÇÃO ELÉTRICA NA PENEIRA DE DISCOS | 70,5 | 9,92 | | X |
| 10/10/2016 | 141-MOE-001 | 8756 | AJUSTAR BANDEIJA DOSADORA DA MOEGA MD/35 | 62,1 | 3,50 | | X |
| 14/10/2016 | 141-VRT-003 | 8783 | FIXAR BASE DO REDUTOR | 92,5 | 2,00 | X | |
| 14/10/2016 | 141-EST-001 | 8784 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS | 14,8 | 3,00 | | X |
| 14/10/2016 | 141-MOE-001 | 8787 | SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA BANDEIJA | 9,0 | 0,75 | | X |
| 21/10/2016 | 141-PEL-001 | 8820 | VERIFICAR ACIONAMENTO DAS CORREIAS TRANSPORTADORAS | 167,3 | 3,50 | | X |
| 21/10/2016 | 141-VRT-003 | 8824 | TROCAR POLIA DO MOTOR DE 100 mm PARA 120 mm | 1,3 | 2,50 | X | |
| 27/10/2016 | 141-VRT-003 | 8859 | SUBSTITUIR POLIA DO MOTOR DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA-003 | 141,5 | 6,75 | | X |
| 07/11/2016 | 141-PEL-001 | 8929 | SUBSTITUIR COMANDO AUTOMATICO DA BOMBA DO POÇO ARTESIANO | 257,3 | 3,00 | | X |
| 09/11/2016 | 141-PEL-001 | 8958 | SUBSTITUIR DISJUNTOR COM MAL CONTATO | 45,0 | 3,50 | X | |
| 13/12/2016 | 141-PNE-001 | 9494 | MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS | 812,5 | 1,00 | X | |
| 29/12/2016 | 141-VRT-003 | 9563 | SUBSTITUIR ACOPLAMENTO DA VALVULA ROTATIVA | 383,0 | 1,00 | X | |

| Data | TAG | Os | Descrição da O.S | TBF | TTR | (continuação) | |
|------------|-------------|-------|---|-------|-------|-------------------------|-----|
| | | | | | | Interrupção do Processo | |
| | | | | | | SIM | NÃO |
| 30/12/2016 | 141-LCD-001 | 9575 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE VAPOR CONDENSADO | 23,0 | 4,50 | X | |
| 03/01/2017 | 141-EST-001 | 9790 | SUBSTITUIR ROLAMENTOS DOS ROLINHOS | 91,5 | 0,17 | | X |
| 11/01/2017 | 141-CHA-001 | 9820 | SUBSTITUIR PARTE DO CHAMINÉ DA CALDEIRA BIOMASSA | 191,8 | 7,17 | X | |
| 12/01/2017 | 141-TNQ-004 | 9840 | ELIMINAR VAZAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ESCOAMENTO DO TANQUE | 16,8 | 0,17 | X | |
| 30/01/2017 | 141-LCD-001 | 9924 | SOLDAR TUBULAÇÃO DE ENTRADA DE CONDENSADO DA CALDEIRA | 431,8 | 1,33 | X | |
| 14/02/2017 | 141-MOE-001 | 10187 | SUBSTITUIR CONTACTOR DA MOEGA MD/35 | 358,7 | 1,83 | X | |
| 16/02/2017 | 141-EST-002 | 10195 | SUBSTITUIR CORREIA DE ACIONAMENTO | 46,2 | 12,50 | | X |
| 24/02/2017 | 141-EXA-001 | 10253 | TENSIONAR CORREIA DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR DE TIRAGEM | 179,5 | 1,00 | | X |
| 15/03/2017 | 141-CAL-001 | 10240 | SUBSTITUIR PORTAS DA CALDEIRA BIOMASSA (PROBLEMAS VEDAÇÃO) | 455,0 | 18,00 | X | |
| 30/03/2017 | 141-CAL-001 | 10591 | SUBSTITUIR VEDAÇÃO DA PORTA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA | 342,0 | 2,00 | X | |
| 30/03/2017 | 141-MOE-001 | 10592 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTOS | 5,2 | 2,00 | | X |
| 30/03/2017 | 141-ROS-002 | 10600 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO DA ROSCA DOSADORA | 2,8 | 2,00 | | X |
| 07/04/2017 | 141-EXA-001 | 10837 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR | 190,0 | 1,00 | X | |
| 19/04/2017 | 141-VAL-005 | 10892 | SUBSTITUIR JUNTA DE VEDAÇÃO DA VÁLVULA (05) | 287,0 | 2,00 | | X |
| 10/05/2017 | 141-BCE-025 | 11183 | CURTO NO CIRCUITO ELÉTRICO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 502,0 | 12,50 | X | |
| 11/05/2017 | 141-MOE-001 | 10173 | SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA MOEGA MD/35 | 11,5 | 5,50 | | X |
| 12/05/2017 | 141-LVP-001 | 11197 | SUBSTITUIR JUNTAS DE VEDAÇÃO DE VAPOR | 18,5 | 8,00 | X | |
| 24/05/2017 | 141-EST-003 | 11244 | SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DE ACIONAMENTO | 280,0 | 1,00 | | X |
| 29/05/2017 | 141-ROS-002 | 11272 | SOLDA NO CILO DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA | 119,0 | 4,00 | X | |
| 31/05/2017 | 141-EST-001 | 11219 | REVISAR ROLINHOS DA CORREIA TRANSPORTADORA 01 | 44,0 | 14,00 | | X |
| 08/06/2017 | 141-EST-002 | 11526 | SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO (B-48) 2 unid. | 178,0 | 3,00 | | X |
| 08/06/2017 | 141-PNE-001 | 11529 | SUBSTITUIR ROLAMENTO | 4,2 | 7,00 | X | |
| 12/06/2017 | 141-TNQ-002 | 11527 | ELIMINAR VAZAMENTO NO FLANGE DE ENTRADA DA CALDEIRA | 89,0 | 2,00 | X | |
| 12/06/2017 | 141-MOE-001 | 11539 | SOLDAR BATENTE NO FIM DA ROSCA DA MOEGA | 0,4 | 4,00 | | X |

| <i>Data</i> | <i>TAG</i> | <i>Os</i> | <i>Descrição da O.S</i> | <i>TBF</i> | <i>TTR</i> | <i>(conclusão)</i> | |
|-------------|-------------|-----------|---|------------|------------|--------------------------------|------------|
| | | | | | | <i>Interrupção do Processo</i> | |
| | | | | | | <i>SIM</i> | <i>NÃO</i> |
| 14/06/2017 | 141-EST-002 | 11562 | REMOVER REDUTOR PARA REVISÃO | 44,0 | 10,00 | X | |
| 23/06/2017 | 141-EST-001 | 11599 | ALINHAR ROLO MOVIDO DA CORREIA 01 | 206,0 | 5,00 | | X |
| 18/07/2017 | 141-VAL-002 | 11891 | TROCA NA VÁLVULA DE DESCARGA 02 | 595,0 | 6,00 | X | |
| 19/07/2017 | 141-LCD-001 | 11893 | ELIMINAR VAZAMENTO DO TUBO DE CONDENSADO NA CALDEIRA BREMER | 18,0 | 13,00 | X | |
| 22/07/2017 | 141-ABR-001 | 11902 | MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE ABRANDADORES | 59,0 | 0,40 | X | |
| 25/07/2017 | 141-EST-001 | 11912 | REVISAR ROLINHOS DA CORREIA TRASPORTADORA DE CAVACO | 71,6 | 2,00 | | X |

Fonte: CORREIA A. (2017)