



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANA KAROLINNE FERREIRA NASCIMENTO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM FORNO A GÁS NATURAL E UM FORNO À
RESISTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADOS EM UMA EMPACOTADORA DE LATAS
EM UMA CERVEJARIA**

FORTALEZA

2023

ANA KAROLINNE FERREIRA NASCIMENTO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM FORNO A GÁS NATURAL E UM FORNO À
RESISTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADOS EM UMA EMPACOTADORA DE LATAS EM
UMA CERVEJARIA

Monografia submetida a Coordenação do Curso
de Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Ceará como um dos requisitos para a
obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo
Antunes

Coorientador: Me. Lincoln Moura de Oliveira

FORTALEZA

2023

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

N193a Nascimento, Ana Karolinne Ferreira.

Análise comparativa entre um forno a gás natural e um forno à resistência elétrica instalados em uma empacotadora de latas em uma cervejaria / Ana Karolinne Ferreira Nascimento. – 2023.
107 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo Antunes.

Coorientação: Prof. Me. Lincoln Moura de Oliveira.

1. Forno elétrico. 2. Forno a gás. 3. Empacotadora de latas. I. Título.

CDD 621.3

ANA KAROLINNE FERREIRA NASCIMENTO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM FORNO A GÁS NATURAL E UM FORNO À
RESISTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADOS EM UMA EMPACOTADORA DE LATAS EM
UMA CERVEJARIA

Monografia submetida a Coordenação do Curso
de Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Ceará como um dos requisitos para a
obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo Antunes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Kassio Derek Nogueira Cavalcante
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

Eng. João Carlos Gomes Chagas
Faculdade de Tecnologia e Ciências (UNIFTC)

A minha mãe Ana Célia, ao meu pai Romão
Ferreira e aos meus irmãos Tayane e Stênio.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que sempre lutou por mim e se eu estou hoje aqui é porque ela me deu todo o suporte que eu precisava e nunca me deixou desistir, ela que me ensinou a lutar pelos meus sonhos e ser a mulher que sou hoje.

Aos meus irmãos, Stênio e Tayane que também me ensinaram a ser forte e que apesar de tudo nunca saíram do meu lado.

Ao meu pai que me ensinou que trabalhar é a melhor forma de alcançar meus objetivos e que parar não é uma opção.

Aos meus amigos e colegas de curso que em toda jornada acadêmica estiveram ao meu lado e foram essenciais para vencer os desafios do curso e sempre encontrar uma solução, que nenhuma notícia ruim é o fim do mundo.

Aos meus colegas de trabalho, em especial Neuda, Lopes, Marcel, Diego e Gilson que me ajudaram imensamente com o tema, é imensurável a ajuda deles nesse trabalho.

À Universidade e à coordenação do meu curso por sempre se preocuparem em entregar uma educação de qualidade, além de oferecerem suporte financeiro para que eu pudesse continuar no curso, e psicológico para que eu me torna-se uma profissional exemplar.

Por fim, ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Antunes e coorientador Lincoln Moura que não desistiram de mim mesmo em meio a adversidades, e que nunca se recusaram a me dar suporte. Me orientaram exemplarmente, e me fizeram acreditar que eu conseguiria.

A evolução da tecnologia em uma indústria pode ser uma causa mais profunda de mudanças na estrutura da indústria do que a densidade da competição (NELSON, 1994, p.47-64).

RESUMO

Os fornos são equipamentos essenciais para a conservação de calor em altas temperaturas, e ao longo do tempo têm passado por avanços tecnológicos significativos. Entre as fontes de calor desenvolvidas, destacam-se os fornos a gás e elétricos, amplamente utilizados na indústria. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso comparativo entre dois tipos de forno: um a gás e outro elétrico, instalados em momentos distintos em uma empacotadora de latas do modelo Innopack - Kirsters SP A-H 89404282, localizada em uma cervejaria. O forno a gás utiliza um sistema de ignição composto por eletrodo de ignição, que gera uma faísca por meio de corrente elétrica, e um eletrodo de ionização, que verifica a presença da chama para liberar o gás. Além disso, conta com uma caixa de controle que abriga os pressostatos de alta, baixa e diferenciação, bem como os controladores lógicos programáveis interno e o externo responsáveis pela lógica de segurança. Já o forno elétrico possui bancos de resistências conectados a um painel externo que inclui contadores, relés, fusíveis e a fonte de alimentação. Esses sistemas são descritos para comparar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Além disso, são apresentadas análises dos danos ambientais e dos custos relacionados à eficiência da linha de produção e ao consumo energético. Os resultados do estudo de caso indicam que o forno elétrico é a melhor opção, uma vez que as habilidades dos colaboradores não atendiam plenamente às demandas do forno a gás, resultando em um tempo prolongado para resolver problemas. Ademais, o forno elétrico dispensa o sistema de segurança de purga, tornando o sistema mais simplificado e seguro para os colaboradores da cervejaria. A ausência das habilidades necessárias para os colaboradores realizarem ajustes no sistema do controlador lógico programável de segurança e nos seus componentes, além do desconhecimento sobre como o gás se comporta no equipamento, também levou ao descumprimento do cronograma de manutenção preventiva, acelerando o desgaste prematuro do forno a gás e afetando ao final de sua vida útil a eficiência da linha de produção em cerca de 7,35%. Adicionalmente, foi identificado que o forno elétrico possui custo com consumo energético 78,3% menor em comparação ao forno a gás, além de causar menores impactos ambientais, promovendo maior sustentabilidade.

Palavras-chave: Forno elétrico; Forno a gás; Empacotadora de latas.

ABSTRACT

Ovens are essential equipment for heat preservation at high temperatures and have undergone significant technological advancements over time. Among the latest heat sources developed, gas and electric ovens stand out, widely used in the industry. This work aims to conduct a comparative case study between two types of ovens: a gas oven and an electric oven, installed at different times in a can packaging machine of the Innopack - Kirsters SP A-H 89404282 model, located in a brewery. The gas oven uses an ignition system consisting of an ignition electrode, which generates a spark through an electric current, and an ionization electrode, which detects the presence of a flame to release the gas. It also has a control box that houses high, low, and differential pressure switches, as well as internal and external programmable logic controller responsible for the safety logic. On the other hand, the electric oven features banks of resistances connected to an external panel that includes contactors, relays, fuses, and the power supply. These systems are described to analyze the advantages and disadvantages of each technology in comparison to each other. Additionally, environmental damage and costs related to production line efficiency and energy consumption are analyzed. The results of the case study indicate that the electric oven is the best option, as the skills of the employees did not fully meet the demands of the gas oven, resulting in a prolonged troubleshooting time. Furthermore, the electric oven does not require a purging safety system, making it a more simplified and secure system for the brewery employees. The lack of necessary skills to adjust the safety programmable logic controller system and its components, as well as the lack of knowledge regarding gas behavior in the equipment, also led to non-compliance with the preventive maintenance schedule, accelerating premature wear of the gas furnace and ultimately affecting production line efficiency by approximately 7.35% at the end of its lifespan. Additionally, it was identified that the electric oven has 78.3% lower energy consumption costs compared to the gas oven, along with causing lower environmental impacts, promoting greater sustainability.

Keywords: Electric oven; Gas oven; Can packaging machine.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Demonstração dos Caldeirões de Metal sobre o Fogo na Idade Média..... | 22 |
| Figura 2 - Fogão Castrol de 1735 | 22 |
| Figura 3 - Forno a querosene sem fuligem e portátil..... | 23 |
| Figura 4 - Forno Baseburner projetado por Jordan Mott..... | 24 |
| Figura 5 - Forno AGA projetado por Gustaf Dalén..... | 25 |
| Figura 6 - Forno elétrico Thomas Ahearn 1892 | 26 |
| Figura 7 - Visão Geral da máquina completa | 33 |
| Figura 8 - Modulo M07 | 34 |
| Figura 9 - Esquemático do processo de funcionamento do forno a gás | 35 |
| Figura 10 - Caixa de controle do forno a gás: Externo..... | 38 |
| Figura 11 - Caixa de controle do forno a gás: Interno | 38 |
| Figura 12 - Fluxograma: sistema do queimador no túnel de retração | 39 |
| Figura 13 - Diagrama 01 do Circuito Forno a Gás..... | 40 |
| Figura 13 A - Diagrama 02 do Circuito do Forno a Gás | 41 |
| Figura 13 B - Diagrama 03 do Circuito do Forno a Gás | 41 |
| Figura 14 - Sequência do programa PLC de segurança..... | 43 |
| Figura 15 - Display e botão “Reset” no dispositivo de disparo automático | 49 |
| Figura 16 - Fixação das baterias de aquecimento..... | 51 |
| Figura 17 - Fixação da unidade do queimador no túnel de retração..... | 55 |
| Figura 18 - Elementos de fixação da câmara de combustão..... | 57 |
| Figura 19 - Posição correta dos eletrodos de ignição e ionização | 57 |
| Figura 20 - Troca do filtro de ar no ventilador do filtro Rittal | 58 |
| Figura 21 - Ajuste da proporção de ar | 59 |
| Figura 22 - Esquemático do processo de funcionamento do forno à resistências elétricas..... | 61 |
| Figura 23 - Visualização do M07 e seus componentes..... | 62 |
| Figura 23 A - Visualização da localização das resistências..... | 63 |
| Figura 24 - Descrição 1 dos componentes forno | 63 |
| Figura 24 A - Descrição 2 dos componentes forno..... | 64 |
| Figura 24 B - Descrição 3 dos componentes forno | 64 |
| Figura 24 C - Descrição 4 dos componentes forno | 64 |
| Figura 25 - Caixa de controle e resistências instaladas | 65 |
| Figura 26 - Defletores e pontos de ajuste | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 - Diagrama de comando de acionamento do túnel..... | 66 |
| Figura 27 A - Diagrama do ventilador de ar quente da Zona de aquecimento 1 | 66 |
| Figura 27 B - Diagrama do ventilador de ar quente da Zona de aquecimento 2..... | 67 |
| Figura 27 C - Diagrama da zona de aquecimento 1 Túnel | 67 |
| Figura 27 D - Diagrama da Zona de aquecimento 2 Túnel | 67 |
| Figura 27 E - Diagrama 1 do comando de aquecimento túnel | 68 |
| Figura 27 F - Diagrama 2 do comando de aquecimento túnel..... | 68 |
| Figura 27 G - Diagrama 3 do comando de aquecimento túnel..... | 68 |
| Figura 28 - Informações de alimentação..... | 69 |
| Figura 29 - Painel de comando e proteção dos aquecedores elétricos..... | 70 |
| Figura 30 – Descrição painel de comando e proteção dos aquecedores elétricos | 70 |
| Figura 31 - Menu do túnel de retração no IHM..... | 71 |
| Figura 32 - Passos de funcionamento do túnel de retração | 73 |
| Figura 33 - Banco de resistência do aquecedor | 78 |
| Figura 34 - Substituição das mangueiras de ar quente | 79 |
| Figura 35 - Localização dos termos elementos | 79 |
| Figura 36 - Verificação dos bocais de ar quente | 80 |
| Figura 37 - Substituição do servomotor | 81 |
| Figura 38 - Local de instalação dos equipamentos..... | 83 |
| Figura 39 - Diferenças dos sistemas a gás e elétrico | 84 |
| Figura 40 - Diferenças menu de aquecimento IHM | 87 |
| Figura 41 - Projeto da linha de produção | 89 |
| Figura 42 - Orçamento do projeto de instalação do forno elétrico | 95 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Relação velocidade enchedora x empacotadora..... | 90 |
| Gráfico 2 - Paradas da linha referentes ao forno a gás | 91 |
| Gráfico 3 - Impactos forno a gás na empacotadora | 91 |
| Gráfico 4 - Paradas da linha referentes ao forno elétrico | 92 |
| Gráfico 5 - Impactos forno elétrico na empacotadora | 92 |
| Gráfico 6 - Comparação e impactos negativos nos primeiros 6 meses gás/elétrico..... | 93 |
| Gráfico 7 - Impactos forno a gás nos últimos 8 meses..... | 96 |
| Gráfico 8 - Impactos forno a gás final na empacotadora..... | 96 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Descrição do esquemático de funcionamento do forno a gás | 34 |
| Quadro 2 - Tipos de componentes forno a gás | 36 |
| Quadro 3 - Dados técnicos forno a gás..... | 37 |
| Quadro 4 - Entradas do sistema..... | 44 |
| Quadro 5 - Saídas do sistema | 44 |
| Quadro 6 - Tempos internos do programa | 45 |
| Quadro 7 - Sinalizadores do Sistema..... | 45 |
| Quadro 8 - Visão geral funcional dos relés de interface K1 a K8 | 47 |
| Quadro 9 - Etapas do programa..... | 49 |
| Quadro 10 - Códigos e possíveis erros e resoluções | 50 |
| Quadro 11 - Checklist pré-operação forno a gás | 52 |
| Quadro 12 - Checklist durante operação forno a gás..... | 53 |
| Quadro 13 - Passos inspecionar os eletrodos de ignição | 56 |
| Quadro 14 - Passos substituir os eletrodos de ignição | 56 |
| Quadro 15 - Passos para ajustar a proporção de ar..... | 58 |
| Quadro 16 - Descrição do esquemático do funcionamento do forno à resistências elétricas... | 60 |
| Quadro 17 - Botões de operação IHM túnel elétrico..... | 72 |
| Quadro 18 - Possíveis erros e resoluções | 74 |
| Quadro 19 - Temperatura de zona de aquecimento muito elevada..... | 76 |
| Quadro 20 - Mensagens de erro e aviso | 77 |
| Quadro 21 - Passo a passo da substituição dos termo elétricos..... | 80 |
| Quadro 22 - Comissionamento pré-operação | 81 |
| Quadro 23 - Comissionamento durante operação | 82 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Custo dos insumos para produção na Linha | 97 |
| Tabela 2 - Custo total relacionado a produção com paradas do forno a gás..... | 97 |
| Tabela 3 - Custo mensal com gás natural (janeiro 2022 a abril 2023) | 98 |
| Tabela 4 - Custo mensal de energia elétrica da linha (janeiro 2022 a abril 2023)..... | 99 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| STL | <i>Secondary Terminal Lead</i> – Conexão elétrica em um transformador de potência que fornece acesso aos terminais secundários do transformador. |
| RPM | Rotações por minuto |
| PLC | <i>Programmable Logic Controller</i> – Controlador Lógico Programável |
| CA. | Circa – Aproximadamente |
| NBR | Norma Brasileira |
| NR | Normas Regulamentadoras |
| DIN EN | <i>Deutsches Institut für Normung</i> – Organização de padronização alemã |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i> – modulação por largura de pulsos |
| APS | Entrada do pressostato de ar. |
| DVGW | Associação técnica e científica alemã para o setor de gás e água |
| PID | Controle Proporcional Integral Derivativo |
| IP | Indicativo do grau de proteção |
| IHM | Interface homem máquina |
| TC | Transformador de corrente |
| TP | Transformador de potencial |
| AFD | Dispositivo de disparo automático |
| BBC | Erro ao usar um cartão com chip de gravação |
| CRC | Combinação de parâmetros incorreta |

SUMÁRIO

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1. | Contextualização | 14 |
| 1.2. | Objetivos..... | 16 |
| 1.2.1. | <i>Objetivo Geral.....</i> | <i>16</i> |
| 1.2.2. | <i>Objetivos Específicos</i> | <i>16</i> |
| 1.3. | Justificativa | 17 |
| 1.4. | Metodologia..... | 18 |
| 1.5. | Estrutura do trabalho | 19 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 21 |
| 2.1. | Fornos: história, conceitos e tecnologias | 21 |
| 2.1.1. | <i>História e Evolução dos Fornos.....</i> | <i>21</i> |
| 2.1.2. | <i>Forno a Lenha.....</i> | <i>22</i> |
| 2.1.3. | <i>Forno de Ferro Fundido</i> | <i>23</i> |
| 2.1.4. | <i>Forno de Carvão e Querosene</i> | <i>23</i> |
| 2.1.5. | <i>Forno a Gás.....</i> | <i>24</i> |
| 2.1.6. | <i>Forno Elétrico</i> | <i>25</i> |
| 2.2. | Fornos Industriais | 26 |
| 2.2.1. | <i>Diferenças entre fornos residenciais e fornos industriais</i> | <i>27</i> |
| 2.2.2. | <i>Tipos de fornos industriais a gás.....</i> | <i>29</i> |
| 2.2.3. | <i>Tipos de fornos industriais elétricos</i> | <i>31</i> |
| 3. | FORNO A GÁS NATURAL | 33 |
| 3.1. | Informações Gerais | 33 |
| 3.1.1. | <i>Extração de Gases de Combustão e Dados Técnicos</i> | <i>35</i> |
| 3.2. | Descrição do sistema do queimador a combustão de gás..... | 38 |
| 3.2.1. | <i>Indicação e eliminação de erros</i> | <i>48</i> |
| 3.3. | Instalação do sistema de queimadores..... | 51 |
| 3.4. | Comissionamento e manutenção..... | 52 |
| 3.4.1. | <i>Inspeção e manutenção do sistema</i> | <i>55</i> |
| 4. | FORNO À RESISTÊNCIA ELÉTRICA..... | 60 |
| 4.1. | Informações Gerais | 60 |
| 4.2. | Descrição do sistema do aquecedor à resistência elétrica | 62 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 4.3. | Operação e conversão para o sistema elétrico | 71 |
| 4.3.1. | <i>Indicação e eliminação de erros</i> | 73 |
| 4.4. | Instalação, comissionamento e manutenção do sistema | 78 |
| 5. | COMPARAÇÃO FORNO A GÁS E FORNO À RESISTÊNCIA ELÉTRICA.. | 83 |
| 5.1. | Mecânica e elétrica | 83 |
| 5.1.1. | <i>Vantagens e desvantagens do queimador a gás</i> | 85 |
| 5.1.2. | <i>Vantagens e desvantagens do aquecedor à resistência elétrica.....</i> | 86 |
| 5.2. | Operação e manutenção..... | 86 |
| 5.2.1. | <i>Vantagens e desvantagens dos aquecedores a gás e elétrico</i> | 88 |
| 5.3. | Eficiência em linha produtiva, danos ambientais e custos..... | 88 |
| 5.3.1. | <i>Eficiência em linha produtiva</i> | 88 |
| 5.3.2. | <i>Danos ambientais e custos</i> | 93 |
| 6. | CONCLUSÃO | 100 |
| | REFERÊNCIAS | 102 |

1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento desse capítulo, é fornecida uma visão geral detalhada do contexto do estudo, estabelecendo o cenário necessário e explorando os elementos-chave para a análise comparativa entre os fornos a gás e elétrico. Além disso, são minuciosamente apresentados os objetivos específicos e as justificativas fundamentais que impulsionaram a realização desse estudo. Posteriormente, é apresentada a metodologia empregada, com seus passos e procedimentos detalhados, e a estrutura cuidadosamente adotada no trabalho, proporcionando uma compreensão abrangente e organizada do conteúdo apresentado.

1.1. Contextualização

Os fornos desempenham um papel fundamental ao longo da história, desde a descoberta do fogo até os dias atuais, passando por um contínuo processo de evolução. Inicialmente, de forma rudimentar, os seres humanos utilizavam buracos no chão, combinados com materiais disponíveis, como folhas desidratadas ou qualquer combustível natural, para assar e cozinhar alimentos. Ao longo do tempo, essa tecnologia evoluiu para o uso de fornos a lenha, posteriormente fornos de ferro fundido, seguidos por fornos alimentados por carvão e querosene, e, por fim, chegando aos fornos a gás e elétricos. Atualmente, esses equipamentos são empregados em uma ampla gama de atividades, desde o preparo de alimentos em residências até processos industriais na fabricação de diversos produtos. (BELLIS, 2018).

A constante busca por eficiência, precisão e segurança tem impulsionado a evolução contínua dos fornos, resultando em tecnologias avançadas e sistemas de controle sofisticados. Esses avanços têm proporcionado não apenas aprimoramentos nos resultados, como a textura e sabor dos alimentos, mas também uma maior eficiência energética e uma produção mais sustentável em várias indústrias. Os fornos são testemunhas da jornada da humanidade em busca de métodos cada vez mais eficientes e sofisticados para o aquecimento e preparo de alimentos, assim como para processos industriais, desempenhando um papel crucial no avanço da tecnologia e no atendimento às demandas da sociedade moderna (CALDEIRA, 2015).

Atualmente, os fornos desempenham um papel fundamental em várias aplicações industriais, sendo os modelos a gás e elétricos os mais amplamente utilizados. No caso dos fornos a gás, existem diferentes tecnologias disponíveis, como a combustão direta, indireta,

recirculação de ar, convecção forçada e combustão múltipla. Essas tecnologias são encontradas em diversos tipos de fornos, como os de câmara, túnel, cadinho, recozimento e pirólise. Por outro lado, os fornos elétricos são baseados em diferentes princípios, como resistências elétricas, arco elétrico, indução e micro-ondas. Cada um desses modelos oferece vantagens específicas, dependendo das necessidades do processo industrial (BAUKAL, 2003 p. 202-257 e JENKINS, MULLINGER, 2013).

No entanto, independentemente do tipo de forno, o objetivo principal é o mesmo: proporcionar aquecimento eficiente. Na indústria, os fornos a gás e elétricos apresentam diferenças significativas em termos de mecânica, elétrica, operacional e manutenção. Os fornos a gás requerem sistemas de ignição manual e/ou automático para acender a chama e gerar o calor necessário. Por outro lado, os fornos elétricos utilizam energia elétrica para o aquecimento, eliminando a necessidade de combustíveis adicionais. É importante destacar que, independentemente do tipo de forno utilizado, a escolha do sistema adequado depende das características do processo industrial, dos requisitos de temperatura, do tipo de material a ser aquecido e de outros fatores específicos (BAUKAL, 2003 p. 202-257).

Portanto, é essencial considerar as necessidades individuais de cada aplicação antes de selecionar o tipo de forno mais apropriado. Portanto, os fornos industriais são essenciais para uma ampla gama de processos e aplicações, com os modelos a gás e elétricos dominando o mercado. Cada tipo de forno possui suas particularidades e tecnologias específicas, mas todos compartilham o objetivo de fornecer aquecimento eficiente e atender às demandas da indústria moderna. A escolha adequada do tipo de forno dependerá das necessidades específicas de cada processo industrial, levando em consideração fatores como eficiência energética, controle de temperatura e requisitos operacionais.

O estudo aborda dois tipos de fornos: um forno a gás, que utiliza a tecnologia de combustão indireta, recirculação do ar e túnel de aquecimento, e um forno elétrico com base em resistências. Ambas as tecnologias foram instaladas no mesmo local, em momentos diferentes, em uma empacotadora de latas do modelo Innopack - Kirsters SP A-H 89404282. Essa empacotadora é composta por quatro módulos: M1, M2, M4 e M7, sendo que os fornos foram instalados no módulo M7. Dessa forma, surge a pergunta central que orienta o estudo: **Qual é a melhor opção de forno, levando em consideração as particularidades do local de instalação, os requisitos operacionais, manutenção, consumo energético e eficiência na linha de produção?**

1.2. Objetivos

O objetivo do estudo visa responder à pergunta central que norteia a pesquisa: qual é a melhor opção de forno, levando em consideração as particularidades do local de instalação, os requisitos operacionais, manutenção, consumo energético e eficiência na linha de produção. Esses objetivos podem ser subdivididos em um objetivo geral e objetivos específicos, os quais são essenciais para direcionar o desenvolvimento e a execução do trabalho de forma precisa e estruturada, proporcionando uma análise abrangente e embasada. Ao estabelecer um objetivo geral e objetivos específicos claros, o estudo tem a finalidade de fornecer respostas fundamentadas e orientações relevantes para a seleção da melhor opção de forno, contribuindo para a melhoria dos processos industriais e a tomada de decisões.

1.2.1. *Objetivo Geral*

O objetivo geral deste trabalho é determinar a melhor opção de forno, considerando as particularidades do local de instalação, os requisitos operacionais, manutenção, consumo energético e eficiência na linha de produção. O estudo visa fornecer uma análise abrangente e embasada que permita a seleção adequada do tipo de forno mais adequado para atender às necessidades específicas do ambiente industrial em questão.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

Para suportar o objetivo geral deste estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos, os quais direcionam de forma mais precisa a realização da pesquisa e a obtenção de resultados significativos:

- I. Realizar um levantamento das particularidades do local de instalação, considerando aspectos como espaço disponível, infraestrutura existente e restrições operacionais.
- II. Analisar e comparar as características técnicas e operacionais dos diferentes tipos de fornos, além de realizar uma análise abrangente das exigências de manutenção de cada tipo de forno disponíveis, levando em consideração aspectos relacionados à complexidade dos procedimentos.
- III. Avaliar o consumo energético de cada opção de forno, considerando as necessidades

específicas do processo produtivo e identificando oportunidades de otimização e redução de custos.

- IV. Avaliar o impacto das diferentes opções de forno na eficiência e produtividade da linha de produção, levando em consideração aspectos como tempo de aquecimento, uniformidade de temperatura e qualidade dos produtos.

1.3. Justificativa

É imperativo para todas as empresas, independentemente de serem do setor público ou privado, buscar seu crescimento e desenvolvimento, alcançando lucratividade por meio da oferta de produtos e serviços de alta qualidade, ao mesmo tempo em que contribuem para o bem-estar da sociedade em geral. Para atingir esses objetivos primordiais, é essencial adotar uma abordagem eficiente na utilização dos equipamentos, o que coloca a manutenção dos ativos e instalações em uma posição central no processo produtivo. A manutenção desempenha um papel essencial na garantia da qualidade e produtividade, sendo reconhecida como uma das funções de maior relevância dentro da organização (XENOS, 1998).

Realizar um estudo de caso comparando um forno elétrico e um a gás instalados em uma empacotadora de latas em uma cervejaria é importante, pois a escolha adequada do tipo de forno pode ter um impacto significativo no desempenho operacional e na eficiência energética da cervejaria. Ao comparar o forno elétrico e o a gás, é possível identificar qual deles oferece melhor desempenho em relação ao consumo de energia, custos operacionais e qualidade do produto. Além disso, a seleção do tipo de forno também está diretamente relacionada à manutenção e à disponibilidade da empacotadora de latas. Um estudo comparativo permitirá avaliar a facilidade de manutenção de cada tipo de forno, bem como sua confiabilidade e durabilidade ao longo do tempo. Isso é essencial para minimizar interrupções na produção e garantir uma operação contínua da cervejaria.

Outra justificativa é a preocupação crescente com a sustentabilidade e o impacto ambiental das operações industriais. Comparar os fornos elétrico e a gás permitirá analisar o desempenho ambiental de cada opção, levando em consideração as emissões de gases poluentes, a eficiência energética e o uso de recursos naturais. Por fim, o estudo de caso também proporcionará um maior conhecimento sobre as particularidades e desafios específicos da aplicação de fornos em empacotadoras de latas em cervejarias, contribuindo para o avanço e a otimização desse processo industrial. Portanto, realizar um estudo comparativo entre um forno

elétrico e um a gás instalados em uma empacotadora de latas em uma cervejaria é justificado para embasar decisões fundamentadas, visando melhorias no desempenho operacional, eficiência energética, confiabilidade, sustentabilidade e qualidade do produto final.

1.4. Metodologia

Conforme Silva e Menezes (2005) As pesquisas podem ser categorizadas com base em sua natureza, abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos. A metodologia utilizada para realizar o estudo de caso em questão envolveu uma abordagem sistemática e estruturada, visando obter informações relevantes e confiáveis para a análise comparativa. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre os diferentes tipos de fornos, suas características, vantagens e desvantagens, bem como as particularidades dos fornos a gás e elétricos. Isso permitiu obter um embasamento teórico sólido e compreender os aspectos-chave a serem considerados na comparação entre esses dois tipos de fornos.

Em seguida, foram coletados dados primários por meio de observação direta e entrevistas com os operadores e técnicos responsáveis pelos fornos na cervejaria. Essas entrevistas foram estruturadas com perguntas específicas relacionadas ao desempenho, eficiência energética, manutenção, controle de temperatura e outros aspectos relevantes para a comparação entre os fornos. Além disso, foram realizadas medições e registros dos consumos energéticos e tempos de produção de cada forno ao longo de um período determinado. Esses dados quantitativos foram utilizados para análises comparativas de eficiência energética e produtividade.

A análise qualitativa foi conduzida por meio da comparação das respostas obtidas nas entrevistas, identificando-se os pontos positivos e negativos de cada tipo de forno em relação aos requisitos operacionais, manutenção e controle de temperatura. Por fim, todas as informações coletadas foram analisadas e interpretadas de forma integrada, levando em consideração os objetivos da pesquisa e os critérios estabelecidos para a comparação entre os fornos. A partir dessa análise, foi possível identificar as principais diferenças, vantagens e desvantagens de cada tipo de forno, assim como recomendar a melhor opção considerando as particularidades do local de instalação, os requisitos operacionais, a manutenção, o consumo energético e a eficiência na linha de produção da cervejaria.

No que se refere à abordagem do problema, a pesquisa combina elementos qualitativos e quantitativos. No entanto, a ênfase recai principalmente na abordagem

qualitativa, uma vez que as entrevistas e documentos obtidos da fábrica foram amplamente utilizados para coletar dados gerais necessários para o estudo. Houve contribuições quantitativas também, pois foram aplicadas funções matemáticas para embasar a análise de confiabilidade. Para isso, foram utilizados dados provenientes do sistema integrado da empresa e documentos relacionados ao histórico de quebras e manutenções, permitindo interpretações gráficas e análises por meio de fórmulas matemáticas.

1.5. Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho consistiu em seis capítulos, cada um abordando um aspecto específico relacionado ao estudo de comparação entre os fornos a gás e elétrico. No primeiro foi apresentado a introdução, neste capítulo, foi realizada a contextualização do estudo, apresentando a importância do tema, os objetivos gerais e específicos da pesquisa, a justificativa para a realização do estudo, além da descrição da metodologia utilizada e da estrutura do trabalho.

No segundo é apresentado a revisão bibliográfica, o qual consistiu em uma revisão abrangente da literatura sobre fornos. Inicialmente, abordou-se o conceito de forno, sua função e aplicação. Em seguida, foram apresentados aspectos históricos sobre a evolução dos fornos, desde os modelos rudimentares, como o forno a lenha, até os modernos fornos a gás e elétricos. Também foram discutidas as diferenças entre os fornos industriais e residenciais, bem como os tipos de fornos industriais a gás e elétricos existentes.

No terceiro é integrado o forno a gás do estudo de caso, foi realizada uma descrição detalhada do forno a gás utilizado no estudo de caso. Foram apresentadas informações sobre suas características técnicas, funcionamento, componentes e particularidades. Também foram abordados aspectos relacionados à operação, manutenção e controle de temperatura do forno.

O quarto discorre sobre o forno elétrico do estudo de caso, dedicado à descrição do forno elétrico utilizado no estudo de caso. Foram apresentadas suas características técnicas, princípio de funcionamento, componentes e peculiaridades. Também foram discutidos aspectos relevantes relacionados à operação, manutenção e controle de temperatura do forno elétrico.

No quinto é apresentado a comparação entre os fornos, foi realizada a comparação entre os dois tipos de fornos estudados. Foram analisados os critérios de avaliação estabelecidos, como particularidades do local de instalação, requisitos operacionais, manutenção, consumo energético e eficiência na linha de produção. Com base nas informações

coletadas e na análise comparativa, foram identificadas as principais diferenças, vantagens e desvantagens de cada tipo de forno.

E por fim, o sexto, a conclusão, nele foi apresentada a conclusão do estudo. Foram sumarizados os principais resultados e as conclusões obtidas a partir da comparação entre os fornos a gás e elétrico. Também foram discutidas as contribuições do trabalho, suas limitações e possíveis sugestões para pesquisas futuras na área. Dessa forma, a estrutura do trabalho foi organizada de maneira sequencial, abrangendo desde a introdução do tema até a conclusão dos resultados e considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, serão explorados os conceitos essenciais que embasam este trabalho. Inicialmente, será apresentada uma análise histórica dos fornos, abrangendo desde os primórdios até a contemporaneidade. Em seguida, serão abordadas as distinções entre os fornos industriais a gás e elétricos, bem como uma descrição dos tipos comumente utilizados. Essa revisão abrangente busca fornecer um panorama completo sobre a evolução e as especificidades dos fornos, estabelecendo uma base sólida para a compreensão do estudo de caso em questão.

2.1. Fornos: história, conceitos e tecnologias

Os fornos estão presentes na sociedade nos mais variados modelos e finalidades, desde as tecnologias mais complexas as tecnologias de menor complexidade. A partir do momento em que o ser humano descobriu o fogo ele identificou que poderia utilizá-lo de diversas formas, entendendo e desenvolvendo a sua utilização, essa tecnologia tornou-se imprescindível para a sociedade. Inicialmente via-se a necessidade de utilizar o fogo para aquecer ambientes e para auxiliar na preparação de alimentos para o consumo, desse modo o fogo foi utilizado como base na criação dos primeiros fornos.

2.1.1. *História e Evolução dos Fornos*

Segundo a Especialista em Invenções Mary Bellis (2018), no princípio as pessoas cozinhavam em fogueiras, muitas vezes faziam buracos no chão e colocavam a lenha para ser utilizada como combustível gerando fogo e calor, os gregos antigos usavam fornos de simples construção para cozinhar alguns alimentos, além disso, na idade média as pessoas cozinhavam em caldeirões de metal que ficavam sobre o fogo, como observado na Figura 01. O primeiro registro histórico de um forno construído foi na região de Alsácia, localizada na França no ano de 1490, construído de tijolos, telhas e uma chaminé.

Figura 1 - Demonstração dos Caldeirões de Metal sobre o Fogo na Idade Média



Fonte: Por Zendile Zonzo (2018, Timetoest)

2.1.2. Forno a Lenha

Conforme Bellis (op. cit), os fornos a lenha foram um dos primeiros fornos registrados, no entanto essa tecnologia gerava uma grande quantidade de fumaça, o que incomodava e até adoecia algumas pessoas, por isso, alguns inventores da época buscaram melhorá-los construindo câmaras para comedir o fogo da madeira, ademais buracos foram construídos no topo dessas câmaras, ou seja, se tivessem o fundo plano, as panelas poderiam ser colocadas sobre a câmara para substituir o caldeirão. Um projeto de alvenaria inventado pelo arquiteto francês François Cuvilliés, foi o fogão Castrol de 1735, esse forno é capaz de conter o fogo e possui fendas cobertas por placas de ferro com furos, como apresentado na Figura 02 abaixo.

Figura 2 - Fogão Castrol de 1735



Fonte: Por Zendile Zonzo (2018, Timetoest)

2.1.3. Forno de Ferro Fundido

Ainda de acordo com Bellis (op. cit) no século XVIII, os fogões de cinco placas, que eram produzidos de Ferro Fundido, foram comercializados atendendo uma grande demanda no continente Europeu. Também como descreve o Doutor David Millar (1996, p. 311), no início do século XIX o inventor Benjamin Thompson inovou criando um fogão o qual o usuário poderia regular a intensidade da chama individualmente para cada panela, e ele poderia ainda utilizar algumas placas simultaneamente durante a sua utilização, no entanto o projeto de Thompson tinham grandes dimensões o que tornava inviável sua utilização em cozinhas menores.

Bellis (2018) disserta que inventores necessitavam aperfeiçoar a criação de Thompson, logo em 1834 foi patenteado o fogão Oberlin de Stewart, que era um fogão de ferro fundido compacto, o que o tornava mais usual para cozinhas de dimensões médias e pequenas. Além disso, ao passar dos anos os fogões de ferro fundido foram desenvolvidos, sendo adicionado chaminés, tubos de combustão de conexão e orifícios de cozimento.

2.1.4. Forno de Carvão e Querosene

Segundo a agência publica *Swedish Institute* (2003, p. 02) o inventor e fundador da Companhia Primus AB, o sueco Frans Wilhelm Lindqvist, criou o primeiro forno a querosene sem fuligem e portátil, operado por um sistema pneumático formado por um compressor de ar como pode-se observar na Figura 03, o forno denomina-se Primus e foi fabricado e comercializado pela sua empresa Primus AB.

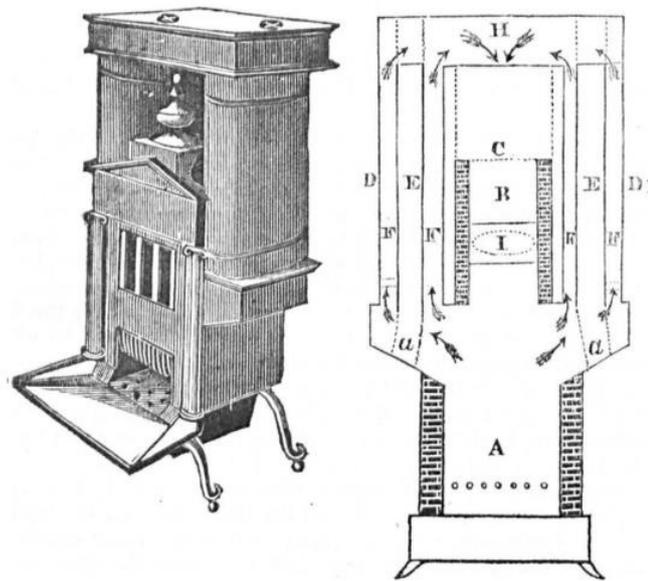
Figura 3 - Forno a querosene sem fuligem e portátil



Fonte: Por Fernandes, Luciano (2021)

O *Journal of the Franklin Institut* (1938, p. 310-312) diz que Jordan L. Mott, inventor americano, projetou o forno denominado Baseburner, o forno funcionava com base na queima de carvão, possuía uma central de ventilação que tornava essa queima eficiente, além disso, tinha formato cilíndrico com um orifício no topo que era fechado por um anel de ferro, como é possível analisar na Figura 04, o forno era feito de ferro fundido e foi o primeiro forno de carvão de fácil utilização, esse feito foi realizado em 1833.

Figura 4 - Forno Baseburner projetado por Jordan Mott



Fonte: Por Journal of the Franklin Institut (1938)

2.1.5. Forno a Gás

Em concordância com Mary Bellis (op. cit), o forno a gás patenteado em 1826 pelo inventor James Sharp foi o primeiro com essa tecnologia a surgir no mercado, no entanto essa tecnologia precisou de mais tempo para se estabelecer nas residências, pois não havia linhas de gás suficientes na época para realizar o abastecimento das casas, apenas quando essas linhas se tornaram comuns foi visto o estabelecimento dessa tecnologia nas residências. Na década de 1910 começaram a surgir fornos com novas características, com revestimento esmaltado que facilitava assim a sua limpeza.

Na década de 1920 já era possível encontrar a tecnologia a gás na maioria das casas. Os engenheiros eletricitas Mikhail Simkin e Vwani Roychowdhury (2011), estabelecem que

em 1922 foi projetado pelo inventor Sueco Gustaf Dalén o Fogão AGA (Figura 05), procurando facilitar a utilização da tecnologia por sua esposa em casa após se tornar portador de deficiência visual, condição essa causada por uma explosão na fábrica onde trabalhava, este projeto revolucionou a indústria desse segmento pela sua simplificada utilização e pelo seu designer.

Figura 5 - Forno AGA projetado por Gustaf Dalén



Fonte: Por Mikhail Simkin e Vwani Roychowdhury (2011)

Atualmente os fornos a gás ainda são usados por grande parte da população e essa tecnologia continua evoluindo, com base na combustão seu sistema é simples em comparação com outros sistemas avançados desse segmento, ou seja, os fornos a gás foram produzidos em larga escala e instalaram-se de forma rápida nas residências. Como em residências, esse sistema é utilizado nas indústrias dos mais variados segmentos, desde no ramo alimentício a indústrias de bens semiduráveis, as tecnologias desses fornos variam de acordo com a necessidade de produção das companhias.

2.1.6. Forno Elétrico

De acordo com Ana Caldeira (2015) e Bellis (2018) ao final do século XIX surgiam os fornos elétricos, alguns estudiosos citam Thomas Ahearn como o criador do primeiro forno elétrico, como pode-se observar na Figura 06, Ahearn era dono da *Chaudiere Electric Light and Power Company* de Ottawa acompanhado de seu sócio Warren Y. Soper. Em 1892, como uma

forma de apresentar o seu trabalho para a sociedade e conquistar as atenções para sua invenção, Thomas cozinhou uma refeição no Hotel Windsor, em Ottawa.

Além disso, ainda de acordo com Ana Caldeira (op. cit) e Bellis (op. cit) a *Carpenter Electric Heating Manufacturing Company* inventou um forno com essa tecnologia em 1891 e em 1893 foi apresentado na FERIA Mundial de Chicago. O primeiro forno elétrico a ser patenteado foi em 1896 por William Hadaway. Fornos elétricos já estavam disponíveis no mercado em 1890, no entanto apenas no início da década de 1930 começaram a competir de fato com os fornos a gás.

Figura 6 - Forno elétrico Thomas Ahearn 1892



Fonte: Por Museu de Ciência e Tecnologia do Canadá (2012)

Fornos elétricos, bem como os fornos a gás, são usados até os dias atuais e estão em constante evolução, atualmente existem fornos elétricos com variadas capacidades de potência dependendo do objetivo a qual está empregado. Outrossim, fornos elétricos se estabeleceram em residências e em indústrias, esses sistemas com base em corrente elétrica estão presentes na sociedade desde baixa até alta potência, estando assim cada vez mais difundidos em grandes indústrias.

2.2. Fornos Industriais

É inegável que as revoluções industriais aceleraram o desenvolvimento de tecnologias para as indústrias, ou seja, os fornos utilizados nas fábricas também foram

amplamente desenvolvidos, e atualmente estão presentes em processamento químico, processos de usinagem, desenvolvimento de eletrônicos, produção de embalagens, alimentos, vidros temperados, pré-tratamento e pintura de materiais, soldas de montagens, secagens em geral, dentre outros (RHOMOS, 2016).

Em suma, as especificações dos fornos industriais desempenham um papel crucial nas diversas indústrias, atendendo às necessidades específicas de cada setor, por exemplo, siderúrgicas, petrolíferas, alimentícias, aeroespaciais e metalúrgicas. Embora essas indústrias tenham diferentes áreas de atuação, todas compartilham o objetivo de melhorar a eficiência, velocidade e qualidade de suas operações. A busca por essas melhorias é facilmente compreendida ao observar o panorama altamente competitivo dos mercados atuais. As empresas enfrentam uma concorrência acirrada e, para se destacarem, é necessário adotar uma abordagem estratégica focada em resultados e inovação.

A capacidade de alcançar resultados concretos e impulsionar a inovação se tornou essencial para o sucesso empresarial no ambiente de negócios atual. Portanto, investir em fornos industriais que atendam às especificações de cada indústria e promovam eficiência, velocidade e qualidade é uma estratégia fundamental para impulsionar o crescimento e a competitividade das empresas nos mercados em constante evolução. A busca contínua por melhores resultados e a capacidade de se adaptar às demandas do mercado são elementos-chave para o sucesso sustentado das organizações.

Os fabricantes de fornos para indústria oferecem diferentes tipos de fornos industriais: fornos a gás, a óleo, fornos a plasma, a vácuo, fornos a alto vácuo, a arco elétrico, fornos calcinadores, basculantes, com atmosfera controlada e muitos outros modelos que atualmente estão disponíveis em lojas especializadas. Enquanto muitos modelos de fornos industriais são utilizados na fabricação e configurações de processamento de alimentos, alguns fornos são projetados especificamente para trabalhos em laboratórios e hospitais. Esses equipamentos são desenvolvidos e projetados para a confecção de uma grande variedade de aplicativos e suprimentos industriais, incluindo papel revestido, tecidos, carpetes, materiais de construção, tubos, produtos eletrônicos, pilhas, bobinas de aço e peças automotivas. (MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS, 2018).

2.2.1. Diferenças entre fornos residenciais e fornos industriais

As diferenças entre os fornos residenciais e fornos industriais está em sua maioria na velocidade de entrega necessária para linha de produção, algumas vezes o insumo fica apenas alguns segundos disposto no forno para que a reação esperada da etapa ocorra. Os fornos atingem altas temperaturas, em siderúrgicas por exemplo, de acordo com o Instituto Aço Brasil

(2022) as temperaturas passam de 1.000 °C, enquanto em uma residência normalmente vai até no máximo 300 °C.

O tamanho dos fornos utilizados são outro fator de divergência, em sua maioria os fornos utilizados nas indústrias têm dimensões superiores aos utilizados comumente em casas. E dependendo da tecnologia do forno, como por exemplo um forno industrial que age com base em um sistema à resistência elétrica, necessita de uma potência superior a potência de um forno elétrico doméstico, outro exemplo é um forno a gás, que é necessário um fluxo maior de gás para manter temperaturas elevadas.

A segurança é um fator de extrema importância no design e operação de fornos industriais. Enquanto fornos residenciais já requerem materiais de qualidade para garantir a segurança, nos fornos industriais essa exigência é ainda mais rigorosa. Devido às condições mais desafiadoras e ao uso intensivo, é essencial que os materiais utilizados nos fornos industriais sejam altamente duráveis, resistentes à temperatura e capazes de suportar ambientes corrosivos ou abrasivos. Além dos materiais de alta qualidade, os fornos industriais também devem ser equipados com sistemas de segurança avançados.

Isso inclui a implementação de sensores especializados para monitorar a temperatura, a pressão e a possível fuga de gases, a fim de detectar qualquer anomalia ou mudança no princípio de funcionamento do sistema. Os sensores de temperatura são particularmente importantes para evitar o superaquecimento, que pode levar a falhas catastróficas ou acidentes. Outrossim, os fornos industriais devem ser projetados com sistemas de controle que permitam a rápida detecção e resposta a emergências. Isso pode incluir sistemas de desligamento automático, válvulas de segurança, sistemas de ventilação eficientes e dispositivos de extinção de incêndio adequados.

É crucial que as indústrias sigam rigorosamente as normas de segurança e manutenção adequada dos fornos industriais. Inspeções regulares, manutenção preventiva e treinamento adequado dos operadores são fundamentais para garantir um ambiente de trabalho seguro e prevenir acidentes. Em resumo, a segurança em fornos industriais requer materiais de alta qualidade, sistemas de segurança avançados e aderência a procedimentos de manutenção e normas de segurança. Ao investir na qualidade e na segurança dos fornos industriais, as empresas podem garantir um ambiente de trabalho seguro, minimizar riscos e proteger seus funcionários e ativos.

Ademais, uma diferença significativa entre os fornos industriais e residenciais está no seu custo. É importante ressaltar que a manutenção de um equipamento industrial requer um nível de rigor muito maior. Isso significa que a manutenção preventiva deve ser realizada de

forma minuciosa, abrangendo todos os conjuntos, subconjuntos e componentes do equipamento. Uma análise inadequada ou uma execução deficiente da manutenção preventiva pode resultar em uma série de problemas. Desde a deterioração prematura de componentes sujeitos a desgaste até a necessidade de substituição completa do equipamento antes do esperado.

Tais problemas acarretam custos elevados de manutenção corretiva. Portanto, é fundamental que as indústrias adotem um plano de manutenção preventiva abrangente, com inspeções regulares, substituição oportuna de peças desgastadas, lubrificação adequada e monitoramento contínuo do desempenho do equipamento. Essas práticas podem ajudar a evitar falhas inesperadas, maximizar a vida útil dos componentes e reduzir os custos associados à manutenção corretiva. Logo, a formação de uma equipe de manutenção especializada e capacitada para lidar com os desafios específicos dos fornos industriais, é crucial.

Isso inclui o conhecimento detalhado dos procedimentos de manutenção, a interpretação de dados de monitoramento e a aplicação de técnicas de reparo adequadas. Então, a manutenção de um forno industrial demanda um nível de rigor muito mais elevado em comparação a um forno residencial. Uma manutenção preventiva adequada, que abrange todos os aspectos do equipamento, é essencial para evitar problemas e custos excessivos de manutenção corretiva. Investir em uma equipe de manutenção especializada e adotar práticas de manutenção preventiva eficazes contribuem para a maximização do desempenho do equipamento e a redução dos custos operacionais a longo prazo.

2.2.2. Tipos de fornos industriais a gás

Existem diversos tipos de fornos a gás utilizados nas indústrias, cada um projetado de forma específica para atender às necessidades de aquecimento e processos industriais variados. A escolha do tipo de forno adequado depende de diversos fatores, como a natureza do produto ou material a ser processado, a temperatura requerida, a eficiência energética desejada e a escala de produção. Entre os tipos mais comuns de tecnologias utilizadas em fornos a gás encontrados nas indústrias, destacam-se:

1. Combustão direta: Nesse tipo de forno, o combustível (geralmente gás natural ou propano) é queimado diretamente no interior do forno. O calor gerado pela combustão é transferido diretamente para a carga ou para a câmara de aquecimento (BAUKAL, 2003 p.202-257).

2. Combustão indireta: Esses fornos possuem um sistema de troca de calor separado da câmara de aquecimento. O combustível é queimado em uma câmara de combustão separada, e o calor resultante é transferido para a câmara de aquecimento por meio de trocadores de calor, como serpentinas ou tubos (TRINKS, HELLE, TESTER, 2003 p. 150-182)
3. Recirculação de ar: Nesses fornos, o ar quente é recirculado continuamente dentro da câmara de aquecimento. O combustível é queimado em uma câmara separada, e o ar quente gerado é direcionado para a câmara de aquecimento por meio de ventiladores ou dutos (PHILIP, 2013 P. 2-27)
4. Convecção forçada: Esses fornos utilizam ventiladores para circular o ar quente dentro da câmara de aquecimento, garantindo uma distribuição uniforme do calor. O ar quente é gerado pela queima do gás em uma câmara de combustão e, em seguida, direcionado para a câmara de aquecimento (AHMAD, 2017 p. 101-145).
5. Combustão múltipla: Esses fornos são projetados para usar diferentes tipos de combustíveis, como gás natural, propano ou óleo combustível. Dependendo das necessidades do processo, o forno pode alternar entre os diferentes combustíveis para otimizar a eficiência e a flexibilidade (FOGARTY, 2003 P. 203-209).

O funcionamento básico de um forno a gás envolve a queima do combustível, geralmente gás natural, em uma câmara de combustão. A queima do gás libera calor, que é transferido para a carga ou para o ambiente do processo por meio de trocadores de calor ou pela circulação de ar quente. O controle da temperatura é alcançado por meio de sistemas de controle, como termostatos, controladores PID e sensores de temperatura. É importante observar que os detalhes específicos do funcionamento podem variar dependendo do tipo de forno a gás e do processo industrial ao qual ele é destinado. Cada tipo de forno é projetado para atender a requisitos específicos de aquecimento, eficiência, controle de temperatura e segurança. No mais, além das tecnologias, os modelos de forno a gás mais encontrados nas indústrias, são:

1. Fornos de câmara: Esses fornos possuem uma câmara isolada termicamente, onde a carga é colocada para ser aquecida. Podem ser utilizados para diversos fins, como tratamentos térmicos, têmpera, recozimento, secagem, entre outros (TRINKS, HELLE, TESTER, 2003 p. 150-182).
2. Fornos de túnel: São fornos que possuem uma esteira ou trilhos para o transporte contínuo dos produtos através de um túnel de aquecimento. São amplamente utilizados em processos

de tratamento térmico, como têmpera e revenimento de peças metálicas, ou em aplicações de secagem e cura de produtos em linha de produção (WILLIAMSON, WILSON, 2009 p. 64-71).

3. Fornos de cadinho: Esses fornos são utilizados para fundição de metais e ligas. Eles possuem um cadinho resistente ao calor onde o material é derretido e moldado. São comumente encontrados em indústrias de fundição, como a indústria automotiva e a indústria de joias (JENKINS, MULLINGER, 2013 p. 304-361).
4. Fornos de recozimento: São fornos projetados para realizar o processo de recozimento, que consiste em aquecer um material até uma temperatura específica e depois resfriá-lo lentamente. Esse processo é utilizado para aliviar tensões internas, melhorar a ductilidade e à resistência à corrosão de materiais metálicos (TRINKS, MAWHINNEY, SHANNON, REED, GARVEY, 2003 p. 87-132).
5. Fornos de pirólise: São fornos utilizados em processos de pirólise, que envolvem a decomposição térmica de materiais orgânicos em ausência de oxigênio. Esse tipo de forno é empregado em indústrias que realizam a produção de carvão vegetal, fabricação de gases combustíveis, entre outros processos (SCHNELL, 2019).

Cada tipo de forno a gás apresenta características específicas e requer cuidados e configurações adequadas para garantir a eficiência e a segurança durante o seu uso. É importante que as indústrias façam uma análise cuidadosa das suas necessidades e consultem especialistas no assunto para escolher o tipo de forno mais adequado para os seus processos industriais específicos.

2.2.3. Tipos de fornos industriais elétricos

Os fornos elétricos são amplamente utilizados na indústria devido à sua eficiência, controle preciso de temperatura e facilidade de automação. Existem diferentes tipos de fornos elétricos encontrados na indústria, cada um projetado para atender a requisitos específicos de aquecimento e processos industriais. No campo da eficiência energética, os fornos elétricos se mostram altamente vantajosos. Eles aproveitam de forma eficaz a energia elétrica fornecida, convertendo-a diretamente em calor, sem perdas significativas. Além disso, o controle preciso da temperatura oferecido pelos sistemas elétricos permite um ajuste fino, garantindo que o aquecimento seja feito de maneira adequada e eficiente. Essa precisão é essencial em processos

que demandam temperaturas específicas para obter resultados de qualidade. Alguns dos tipos mais comuns de fornos elétricos incluem:

1. Fornos de resistência: Os fornos de resistência são os mais simples e comuns na indústria. Eles utilizam elementos de resistência elétrica, geralmente feitos de fio de resistência ou elementos de cerâmica, que convertem a energia elétrica em calor. Esses fornos são utilizados para uma variedade de aplicações, como têmpera, recozimento, tratamento térmico de metais, secagem de materiais, entre outros (TRINKS, MAWHINNEY, SHANNON, 2003 p. 87-132).
2. Fornos de arco elétrico: Os fornos de arco elétrico utilizam um arco elétrico como fonte de calor. O arco é formado entre dois eletrodos, que são geralmente feitos de materiais refratários. Esse tipo de forno é comumente utilizado em fundições e siderúrgicas para derreter metais, bem como em processos de reciclagem de materiais (TOULOUEVSKI, ZINUROV, 2015 p 21-55).
3. Fornos de indução: Os fornos de indução são projetados para aquecer objetos condutores de eletricidade através da indução eletromagnética. Eles consistem em uma bobina de cobre através da qual uma corrente elétrica alternada de alta frequência passa, gerando um campo magnético. Esse campo magnético induz correntes elétricas no objeto a ser aquecido, gerando calor. Os fornos de indução são amplamente utilizados na indústria de fundição para derreter metais e em processos de tratamento térmico (RUDNEV, LOVELESS, COOK, 2017 p. 112-196).
4. Fornos de micro-ondas: Os fornos de micro-ondas utilizam radiação eletromagnética de micro-ondas para aquecer os materiais. Eles são comumente usados em processos industriais que envolvem secagem, aquecimento de alimentos, tratamento de materiais cerâmicos e polimerização. Os fornos de micro-ondas oferecem aquecimento rápido e eficiente, além de permitir um controle preciso da temperatura (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994 p. 12-31)

Na indústria, existem diversas opções de fornos elétricos, cada uma com vantagens e aplicações específicas. A seleção do tipo de forno elétrico dependerá dos requisitos do processo industrial, da temperatura necessária, do material a ser aquecido e de outros critérios particulares. Com o avanço da tecnologia, os fornos elétricos têm se tornado mais eficientes e sofisticados, oferecendo um controle aprimorado, maior eficiência energética e melhor qualidade dos produtos industriais.

3. FORNO A GÁS NATURAL

O forno a gás natural do estudo em questão é do tipo de combustão indireta e por túnel. De acordo com o manual do equipamento (2012 p.6-10), ele utiliza como princípio de funcionamento a queima de gás natural, o qual é um combustível fóssil e não renovável, o sistema é comumente formado por um componente de ionização e de ignição, como por exemplo um elétrodo de ionização que funciona como uma chave que abre e fecha a válvula de gás caso haja a presença de chama, e o eletrodo de ignição que é instalado conectado a um transformador que recebe corrente elétrica primária e transforma em corrente secundária, ou seja, é formado uma faísca elétrica para dar início a combustão.

3.1. Informações Gerais

Para o estudo do capítulo foi utilizado de referência o forno a gás que utiliza um sistema de queimador incluindo zona de mistura de gás e ar mais o sistema de controle, utilizado em uma empacotadora de latas do tipo Shrink Packer – Innopack Kisters SP A-H 89404282 da fabricante KHS, esta máquina compõe de várias zonas chamadas de módulos, e esses módulos tem sistemas independentes e ligados entre si, no equipamento em questão existem 4 módulos: M01 – Módulo de processamento “Entrada de Produto”, M02 – Módulo de processamento “Formatar”, M04 – módulo de processamento “Envolver” e o M07 – módulo de processamento “Retrair”, como exemplificado na Figura 07.

Figura 7 - Visão Geral da máquina completa



Fonte: KHS Group, Innopack Kisters SP Advanced shrink packer (2022).

O módulo que fica instalado o túnel de retração e os queimadores é o M07, é possível observar o módulo com mais detalhes na Figura 8.

Figura 8 - Modulo M07



Fonte: KHS Group, Innopack Kisters SP Advanced shrink packer (2022)

No sistema analisado, os queimadores são operados dentro de uma câmara que protege os queimadores do fluxo de circulação de ar, os componentes são integrados na saída da câmara do forno e proporcionam o processo de mistura contínua do ar que está circulando e do gás após a combustão. O esquemático do funcionamento do sistema está descrito no quadro 1, nesse sistema a temperatura de dentro da câmara de mistura nunca deve exceder 300 °C, nesse caso é utilizado um gás que entra em combustão no queimador e é operado dentro de uma câmara de forno, que protege o queimador do grande fluxo de ar circulante.

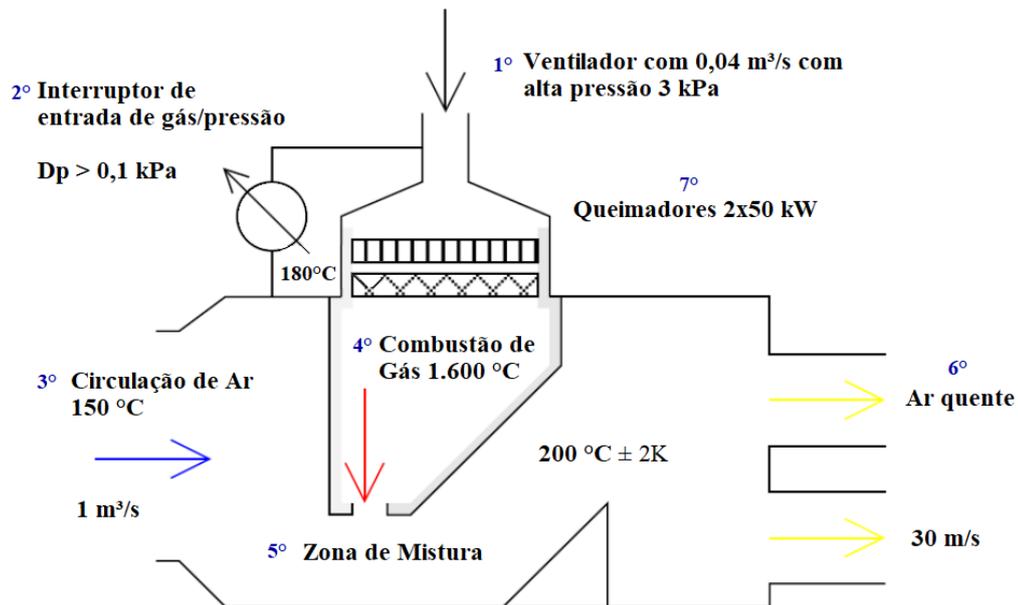
Quadro 1 - Descrição do esquemático de funcionamento do forno a gás

| Nº | Descrição | Função | Dados |
|----|-------------------------------|---|---|
| 1º | Ventilador | "Empurrar"/Circular o gás para dentro do sistema | Velocidade a 0,04 m ³ /s Pressão: 3 kPa |
| 2º | Interruptor de entrada de gás | Fechar a entrada de gás quando a pressão passar dos níveis de segurança | Pressão > 0,1 kPa Temperatura: 180°C |
| 3º | Circulação de Ar | Entrada de ar para a zona de mistura | Velocidade: 1,0 m ³ /s Temperatura: 150°C |
| 4º | Combustão de Gás | Área onde ocorre a combustão do Gás Natural | Temperatura de Combustão: 1.600°C |
| 5º | Zona de Mistura | Área onde ocorre a mistura da Combustão do Gás e o Ar Circulante | Temperatura: 200 °C ± 2K |
| 6º | Saída do Ar/Gás | Saída do ar e gás pós zona de mistura | Temperatura: 200 °C Velocidade: 30 m/s |
| 7º | Queimadores | Queimadores onde ocorre o processo de Combustão | Quantidade: 2 Potência individual: 50 kW |

Fonte: Elaborada pelo autor.

O esquemático do funcionamento do sistema descrito no quadro 1 e pode ser observado na Figura 09.

Figura 9 - Esquemático do processo de funcionamento do forno a gás



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os queimadores desse esquemático fazem parte de uma máquina, e devem ser comissionados apenas quando estiverem instalados corretamente no local de instalação, além de estar cumprindo todas as normas de segurança da região. O projeto foi estruturado para que funcione em ambientes fechados, porém em ambientes com alto fluxo de poeira, vapor e com muita umidade esse esquemático não atende o necessário, e os queimadores nessas condições não podem ser comissionados.

3.1.1. Extração de Gases de Combustão e Dados Técnicos

O equipamento foi desenvolvido na Alemanha e as diretrizes alemãs informam que para ser necessário um sistema de extração de gases de combustão é preciso que o sistema esteja funcionando com um consumo médio e que o ar natural seja 1,5 vezes a mais do que o gás de combustão no ambiente, além de que o mínimo de volume espacial exigido é de 15 m^3 por kW. Caso todos esses requisitos sejam atendidos não é necessário extração mecânica ou térmica de exaustão. No Brasil, segue-se as normas NBR 15526, que estabelece requisitos para instalação

de gases combustíveis em locais residenciais e comerciais para que não ultrapassem a pressão de operação 150 kPa, e que possam ser abastecidos por canalização de rua e/ou centrais de distribuição de gás, nesses casos o gás é conduzido por tubulações.

Além dessa norma, tem-se a NBR 13103:2013 que é responsável por estabelecer as diretrizes para instalação de aparelhos a gás para uso residencial, sendo que o somatório das potências não pode ultrapassar 80,0 kW. Ademais, também está presente nas normas brasileiras a NBR 15358:2014, a qual é responsável por determinar os requisitos necessários para instalação de Rede de Distribuição interna para gás combustível em instalações de uso não residencial de até 400 kPa. Para o equipamento de estudo em questão observa-se as especificações técnicas referentes aos modelos de componentes utilizados no quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de componentes forno a gás

| Número KHS | Nomenclatura Promeos | Dados e Observações | Número Promeos |
|-------------------|-----------------------------|---|-----------------------|
| 25303064S001 | aceo.as.065.v01.cc | Potência de 10-50 kW; Abertura de 28,5 mm; Venturi 052; Componente KHS de Longo Aquecimento 570x528x151 | 001040004 |
| 25302949S001 | aceo.as.065.v01.cb | Potência de 10-50 kW; Abertura de 28,5 mm; Venturi 052; Componente KHS de Curto Aquecimento 414x528x151 | 001040006 |
| 25308865S001 | aceo.as.065.v01.bc | Potência de 12-60 kW; Abertura de 32,5 mm; Venturi 001; Componente KHS de Longo Aquecimento 570x528x151 | 001040008 |
| 25304497S001 | aceo.04-30 Oberluft lang | Potência de 06-30 kW; Abertura de 18,0 mm; Venturi 003; Componente KHS de Longo Aquecimento 570x528x152 | 001050002 |
| 25304496S001 | aceo.04-30 Oberluft kurz | Potência de 06-30 kW; Abertura de 18,0 mm; Venturi 003; Componente KHS de Curto Aquecimento 414x528x153 | 001040003 |
| 25303842S001 | aceo.04-30 Unterluft | Potência de 06-30 kW; Abertura de 18,0 mm; Venturi 003; Componente de Aquecimento sob o ar | 001850100 |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Abaixo no quadro 3, está descrito os dados técnicos. Visto que todas as dimensões estabelecidas nesses quadros indicam as dimensões externas da tampa da bateria do queimador, pode-se inferir analisando os quadros acima e os requisitos presentes nas normas anteriormente citadas, que as especificações técnicas dos queimadores se enquadram nas normas nacionais e

internacionais. Ademais todas as especificações de volume se referem ao metro cúbico padrão em condições ambientais de 1.013,25 mbar e 0°C. Os dados de desempenho dos queimadores podem diferir, dependendo do túnel de retração e do número de sopradores de ar circulante usados por uma bateria de aquecimento. Os valores especificados no quadro 3 devem ser considerados como valores nominais.

Quadro 3 - Dados técnicos forno a gás

| Dados Técnicos | aceo.as.065.v01.c# | aceo.as.065.v01.b# | aceo.04-30... |
|--|--|--------------------|------------------|
| Parte Superior Queimador | 1 Stck CEO.AS.065 | | 1 Stck AFC.030.S |
| Carga/Saída de Calor Nominal [kW] | 10 - 50 | 10 - 60 | 6 - 30 |
| Categoria do Gás de acordo com DVGW Tabela G260 | 2. Família de gás H, E, L | | |
| Pressão do Gás (mín - máx) [mbar] | 18 - 60 | | |
| Valores de conexão de gás Fornecimento em | | | |
| Gás natural E; 10,0 kWh/m ³ [m ³ /h] | 5,0 | 6,0 | 3,0 |
| Gás natural LL; 8,9 kWh/m ³ [m ³ /h] | 5,6 | 6,7 | 3,4 |
| Fluxo de massa de Gás de Combustão [kg/h] | ca. 84 | ca. 90 | ca. 48 |
| Relação/Proporção de gás - ar | 1,25 - 1,3 ± 0,05 | | |
| Níveis de Emissão NOx [ppm] com Carga Nominal CO [ppm] | ca. 20 ca. 20 | | |
| Dimensões | Componente KHS de Aquecimento Curto 414/528x151 Componente KHS de Aquecimento Longo 570/528x151 * | | |
| Tensão de Alimentação Circuitos auxiliares[V/Hz] | 230/50 | | |
| Tensão de Controle Externo [V] | 0 - 10 | | |
| Consumo de energia [W] | máx. 250 | máx. 300 | |
| Grau de Proteção [IP] | 54 | | |
| Peso [kg] | ca. 80 | | |
| Aplicação | Aquecedor do túnel de retração, temperatura máxima de 300°C (Zona/Câmara de mistura) | | |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.2. Descrição do sistema do queimador a combustão de gás

Dentro de uma caixa de controle ficam armazenados o sistema do queimador, bem como a unidade de controle, ou seja, sensor de pressão, transformador de ignição, válvulas de gás, PLC de segurança, componentes elétricos de disparo automático, placa de rede e relé conectado ao PLC externo. Duas válvulas de classe A são instaladas, uma dentro da caixa de controle e outra fora, o limitador de temperatura de segurança é posto dentro da caixa na placa de flange do queimador, e o próprio STL é instalado externamente, além disso tem-se o sensor de pressão conectado diretamente ao PLC externo através da caixa de terminais. Observe nas Figuras 10 e 11 a caixa e como são dispostos os materiais dentro dela.

Figura 10 - Caixa de controle do forno a gás: Externo



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Na figura 11 está apresentado a parte interna da caixa de controle do forno a gás, onde é possível observar todos os elementos descritos acima.

Figura 11 - Caixa de controle do forno a gás: Interno

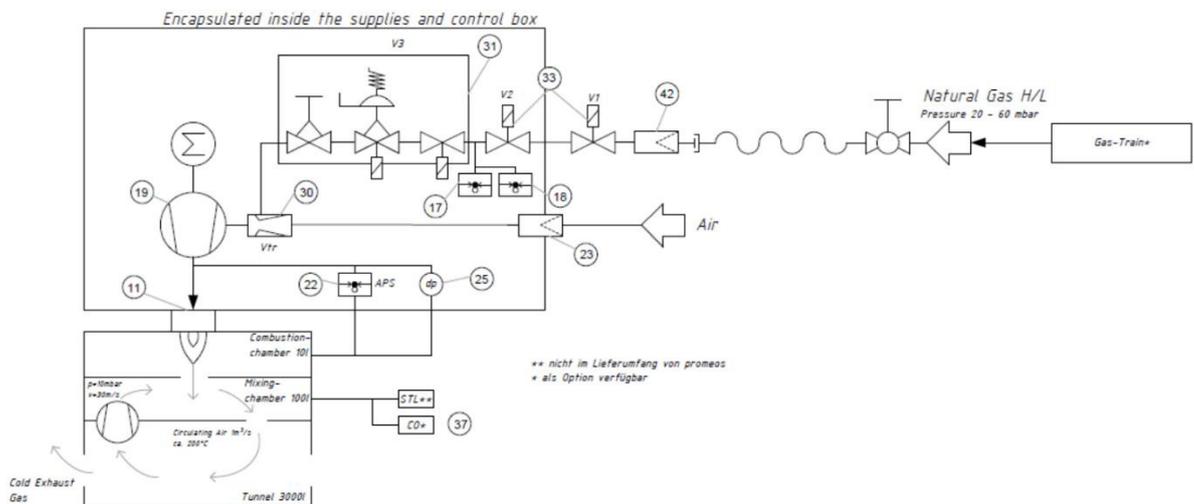


Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

De acordo com o manual de instalação do equipamento (2012), o sistema compõe um queimador com um soprador de gás com gás e ar pré-misturados, esse fluxo de ar de combustão é regulado por um ventilador que por sua vez é controlado por RPM, esse sistema é aceso por meio de uma faísca gerada por uma ignição e é monitorada em um dispositivo de disparo automático que controla com base na corrente de ionização, esse dispositivo também é conectado a uma válvula de segurança reguladora (Válvula 3 – V3). Dois solenoides de segurança de classe A são conectados a essa unidade, com a válvula 2 – V2 abrindo e fechando em paralelo com a válvula combinada V3.

Pode-se observar o esquemático descrito acima na Figura 12, essas válvulas são monitoradas por um sistema de teste de válvulas de acordo com a norma DIN EN 1645, que estabelece que um sistema de controle de válvulas deve ser capaz de reconhecer qualquer vazamento > 50 l/h, com volume aproximado de 0,05 l entre os dois solenoides de desligamento, bem como com pressão de gás de 30 mbar e um ponto de disparo do monitor com pressão mínima de 10 mbar. Dessa forma, resultando no reconhecimento de uma quantidade de gás de 0,001 l, o tempo mínimo para essa verificação deve ser inferior a 0,1s, ou seja, a inércia do sensor de pressão do gás é a variável que determina o tempo.

Figura 12 - Fluxograma: sistema do queimador no túnel de retração



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

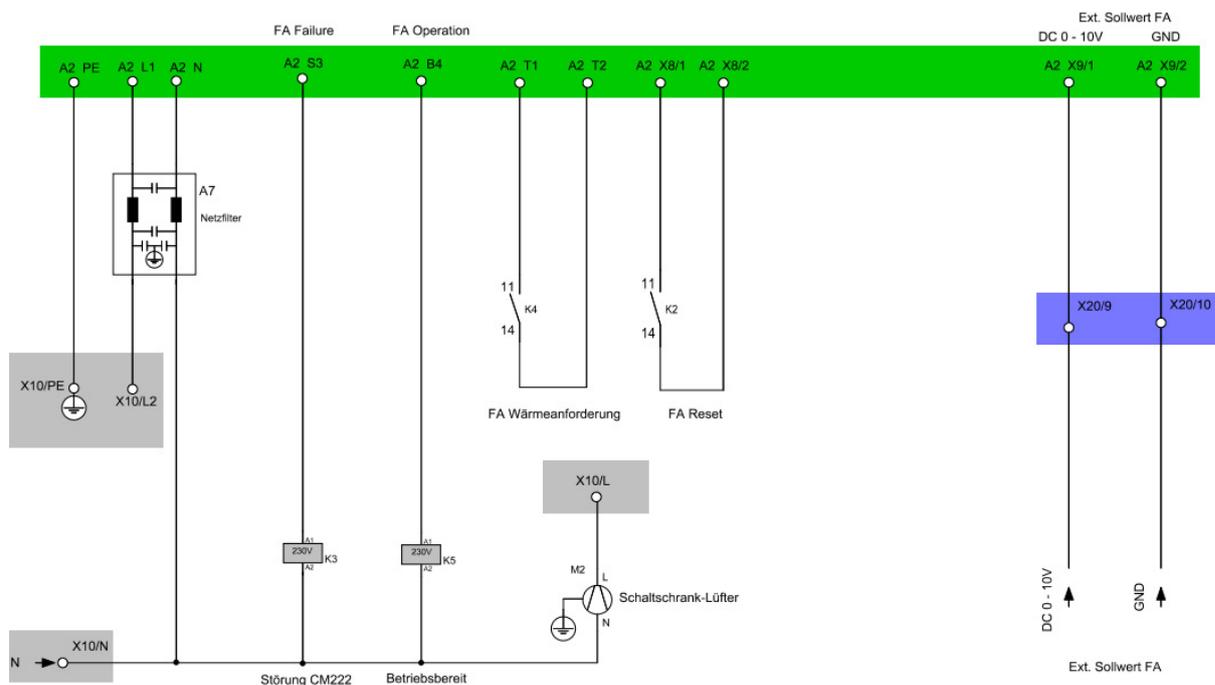
Utilizando o sistema de teste de válvulas a cada partida do queimador, terá que ser necessário um longo tempo para a purga de todo o volume do sistema de aproximadamente 3m^3 , tornando-se inaceitável por questões de tecnologia do processo. A mistura gás/ar é

realizada no lado do soprador usando um misturador Venturi, sendo soprada através do cabeçote poroso do queimador para a câmara de combustão, na câmara existe uma contrapressão de 10 ± 3 [mbar] com os ventiladores de circulação em funcionamento.

Por segurança, caso haja mau funcionamento do sistema, para evitar que a circulação de ar quente atravesse o soprador de ar de combustão o soprador continuará funcionando, para isso foi utilizado um circuito com relé de segurança NR12 (com redundância) que verifica se a tensão de alimentação do soprador foi desligada pelo dispositivo de disparo automático, e faz com que o soprador continue funcionando com RPM total. Esse circuito de segurança comuta com o sinal de saída PWM e o sinal do sensor hall para a alimentação de tensão do ventilador, e é controlado pela saída do dispositivo de disparo automático.

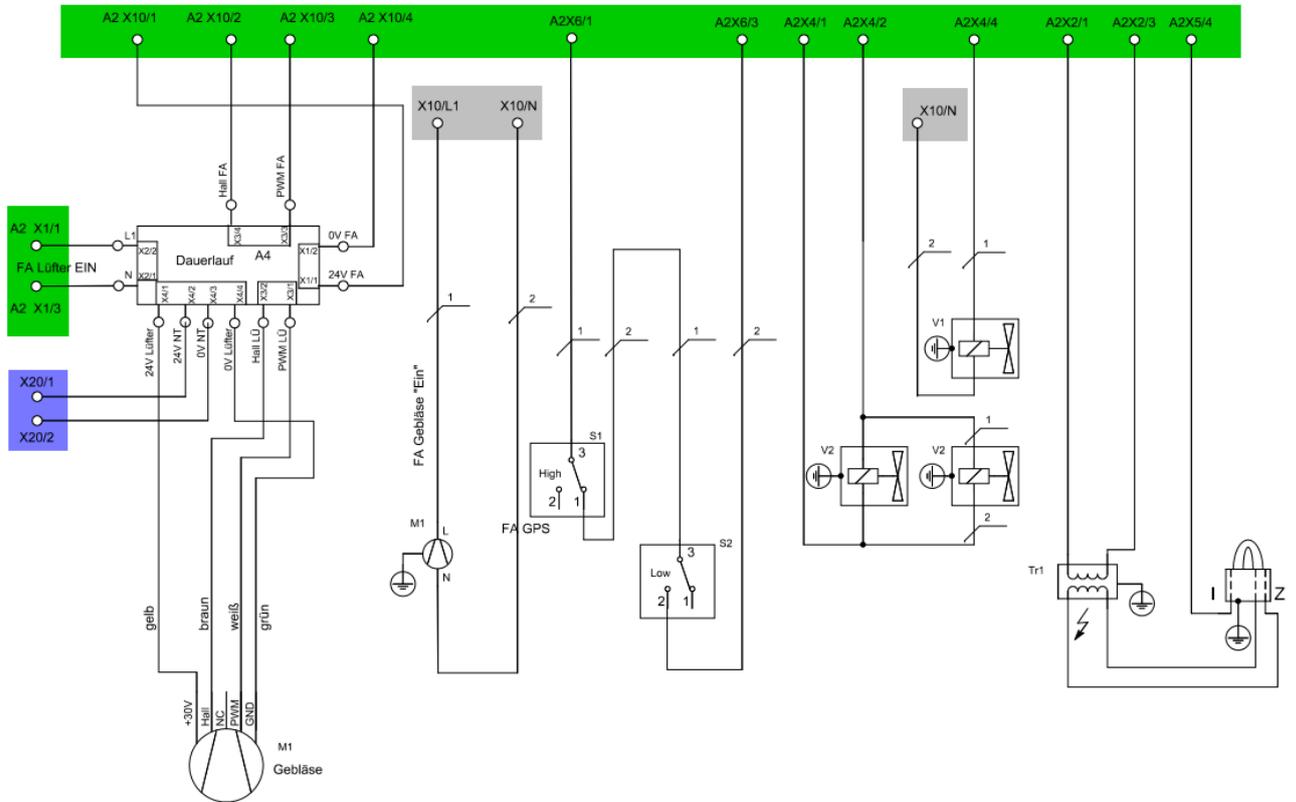
Em *Standby*, o soprador não recebe nenhum sinal PWM, e nenhuma tensão é aplicada, com isso o soprador funciona a velocidade máxima, o ventilador não recebe sinal do sensor Hall do soprador, neste caso, a alimentação de tensão para o soprador permanece continuamente aplicada e é controlada pelo PLC de Segurança (A3) através do relé de interface K6. Este relé de interface K6 é do tipo relé de segurança que é fechado se a alimentação estiver desligada, em funcionamento o ventilador assume o controle da rotação do soprador, o diagrama do circuito está apresentado nas Figuras 13 (a,b e c).

Figura 13 - Diagrama 01 do Circuito Forno a Gás



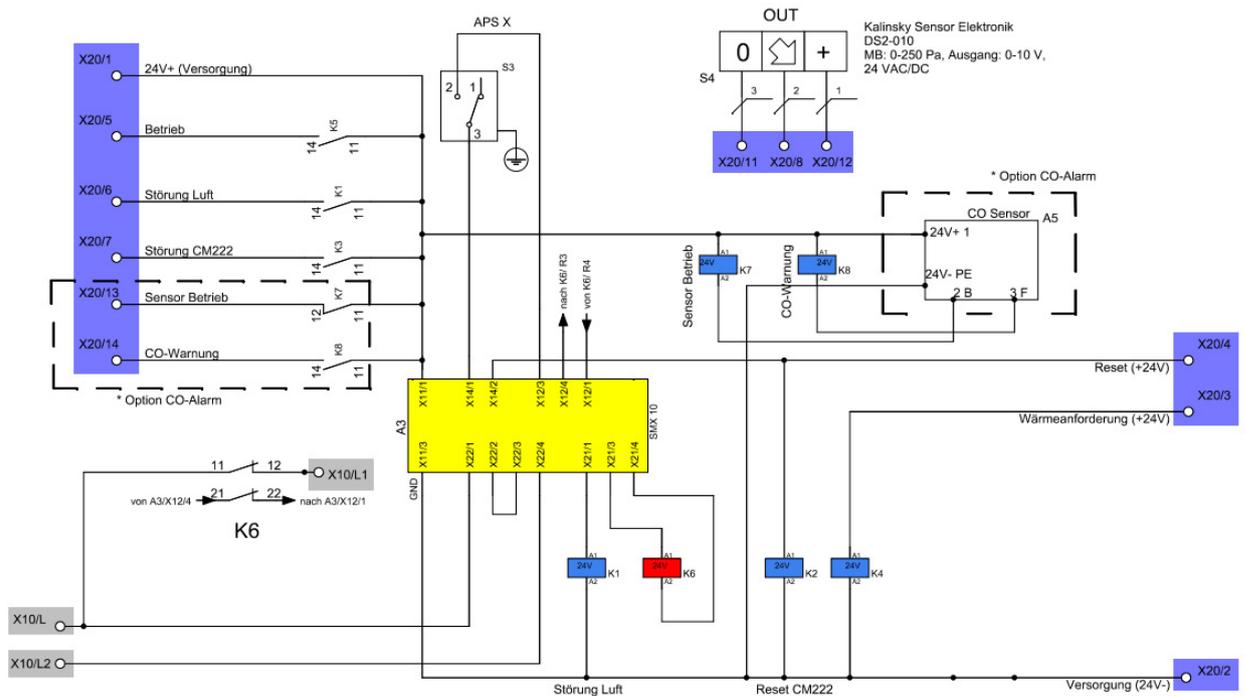
Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Figura 13 A - Diagrama 02 do Circuito do Forno a Gás



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Figura 13 B - Diagrama 03 do Circuito do Forno a Gás



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Como resultado do não funcionamento do circuito do relé em operação, essa disfuncionalidade é reconhecido pelo dispositivo de disparo automático, e os valores nominais de RPM não são mais alcançados e o dispositivo automático entra no modo de erro. O funcionamento correto do interruptor de ar responsável por verificar a direção correta do fluxo, é verificado quando o sistema é ligado e é monitorado durante a operação do sistema por uma unidade PLC de segurança de categoria 4 acc. à EN 954-1.

Primeiramente liga-se a alimentação de 230V e depois a alimentação de 24V do PLC de segurança para ligar o túnel de retração, essas informações recebidas serão comutadas pelo PLC externo. O PLC de segurança (A3) verifica inicialmente se o contato do monitor de pressão diferencial está aberto, depois ele aciona o ventilador após um período ($T_{\text{VentiladorOff}}$) liberando sua alimentação através do relé de interface K6. Caso o contato do monitor de pressão diferencial de ar já estiver fechado durante a ativação, o PLC de segurança entrará em estado de Erro. A mensagem de erro é transmitida ao PLC externo através do relé de interface K1.

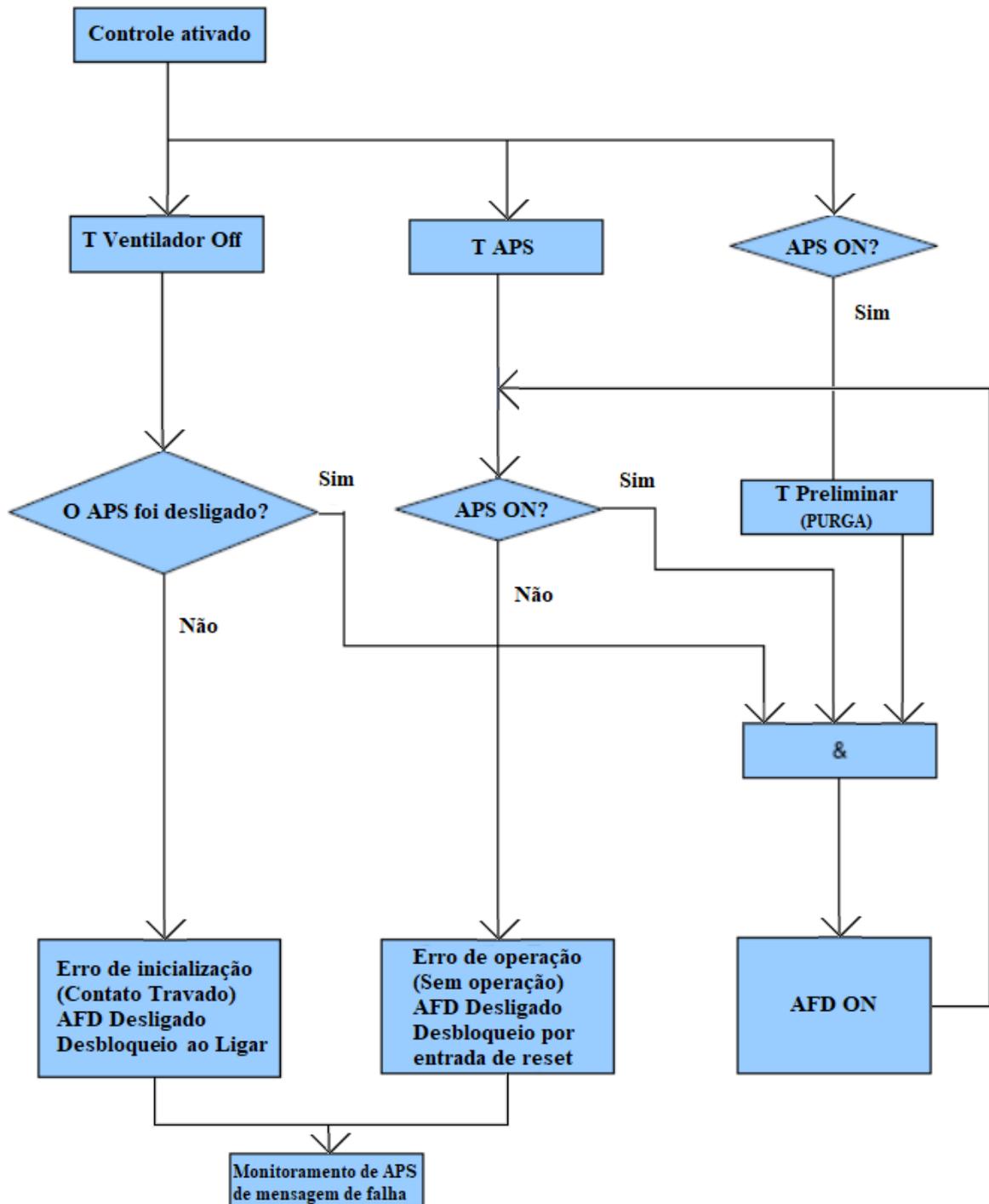
Após passar o período (T_{APS}), o pressostato diferencial deve ter comutado, caso não tenha, o PLC passará para o modo de erro. Uma vez comutado o pressostato diferencial, o sistema é parado durante um intervalo de tempo ($T_{\text{Preliminar}}$) de purga, como pode-se observar na Figura 14. Durante o período de purga, o pressostato é monitorado, decorrido esse período, a tensão de alimentação do dispositivo de disparo automático (A2) é acionada pelos relés internos e redundantes do PLC de segurança. Pode-se observar as funções e a sequência do programa do PLC de segurança na Figura 14, bem como as entradas do sistema no quadro 04, as saídas descritas no quadro 05, sendo as entradas e saídas relevantes sinalizadas em itálico nos quadros.

A recuperação do sinal APS (pressostato de ar) é realizado com um atraso de desligamento que por sua vez é realizado pelo elemento de temporização $T_{\text{APS ATRASO}}$. Além disso o sistema é desligado em consequência de um mau funcionamento, esse desligamento inicia-se pelo monitor de ar que aciona uma mensagem de erro para o PLC externo através do relé de interface K1. Outrossim, evitando um erro devido à queda de pressão de curto prazo abaixo da pressão de gatilho durante o processo de controle do PLC, e aumentando a disponibilidade a comutação do monitor de ar é processada através do elemento de temporização com um atraso de desligamento, ou seja, $T_{\text{APS ATRASO}}$.

Esse desligamento causa reações diferentes, dentre elas: 1° A purga ainda não foi concluída, logo, a verificação do tempo de inatividade falhou, o pressostato não comuta após a expiração do tempo " $T_{\text{VentiladorOff}}$ " ou cai durante o processo de purga, para desbloquear a tensão de alimentação deve ser desligada e religada pelo PLC externo e o procedimento de ligar o túnel de retração segue; 2° O monitor de ar cai durante a operação (depois de ter expirado o período

de purga), a tensão de alimentação do dispositivo de disparo automático é desligada, o estado de mau funcionamento pode ser desbloqueado por uma borda positiva na entrada de reset do PLC de segurança A3, que reativará a tensão de alimentação do dispositivo de disparo automático sem ter que repetir o processo de purga.

Figura 14 - Sequência do programa PLC de segurança



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Segue no quadro 4 os sinais de entrada do sistema descrito na Figura 14 referente a sequência do PLC de segurança.

Quadro 4 - Entradas do sistema

| Terminais PLC | Software Terminal | Descrição do Software | Explicação |
|---------------|-------------------|-----------------------|---|
| X14/1 - DI 01 | E1 | APS | Entrada do pressostato de ar. É alimentado pela saída de pulso 1 do PLC de segurança (função de monitoração interna do PLC) |
| X14/2 - DI 02 | E2/Pos.:3 | Reset | Entrada da função de Desbloqueio |
| Não Conectado | E3/Pos.:4 | Sem Conexão | Entrada não conectada para gerar lógica "1" |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Segue no quadro 5 os sinais de saída do sistema descrito na Figura 14 referente a sequência do PLC de segurança.

Quadro 5 - Saídas do sistema

| Terminais PLC | Software Terminal | Descrição do Software | Explicação |
|----------------|-------------------|-----------------------|--|
| X22/1 - K1.1 | DO.2 P | AFD | Saídas de relé de segurança NR-12, para ligar o dispositivo de disparo automático AFD. Relés internos do PLC de Segurança |
| X22/2 - K1.2 | - | | |
| X22/3 - K2.1 | DO.2 M | | |
| X22/4 - K2.2 | | | |
| X21/1 - DO1 HI | DO.0 P | Erro | Saída do semicondutor simples para ativar o relé que indica o erro K1 |
| X21/3 - DO2 HI | E3/Pos.:4 | Ventilador | Saída de semicondutor redundante para desligar a alimentação do ventilador através do relé de segurança K6 |
| X21/4 - DO2 LO | | | |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Segue no quadro 6 os tempos interno do programa descrito na Figura 14 referente a sequência do PLC de segurança, são eles: TAPS ATRASO, TPROTEÇÃO SOBRECARGA, T VENTILADOR OFF, TAPS, TPRELIMINAR (PURGA).

Quadro 6 - Tempos internos do programa

| Descrição do Software | aceo.af.065 SW V0.6 | aceo.04-30 SW V0.4 | Explicação |
|-----------------------|---------------------|--------------------|---|
| TAPS ATRASO | 2 s | 2 s | Ao não confirmar esse elemento (temporizador de desligamento) nos lados de entrada e saída, ocorre um atraso no desligamento do pressostato de ar. |
| TPROTEÇÃO SOBRECARGA | 200 ms | 200 ms | Gera impulso de reset, dessa forma o estado de falha do pressostato de ar só é desbloqueado por impulso positivo na linha de entrada de reinicialização |
| TVENTILADOR OFF | 12 s | 25 s | Assim que o PLC for inicializado a saída do ventilador será ligada e o ventilador será desligado através do relé de segurança K6, dessa forma verificando se o pressostato de ar desliga corretamente |
| TAPS | 25 s | 30 s | PLC inicializado, o pressostato de ar deve ser ligado novamente dentro deste período |
| TPRELIMINAR (PURGA) | 30 s | 30 s | PLC inicializado, o pressostato de ar deve permanecer ligado durante todo o tempo de purga, após isso o dispositivo de disparo automático é ligado. |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No quadro 7 são informados os sinalizadores do programa descrito na Figura 14 referente a sequência do PLC de segurança, são eles: Lógica “1”; Interruptor de pressão de ar; Reset; StoerHochl; StoerBetrieb e Purga ok.

Quadro 7 - Sinalizadores do Sistema

| Designação dos Software | Explicação |
|-------------------------|---|
| Lógica "1" | É gerada a partir de uma entrada negada e/ou desconectada |

| | |
|------------------------------|---|
| Interruptor de pressão de ar | É incluído no pressostato de ar (APS) 2s de atraso de desligamento |
| Reset | Um impulso de reset com duração de 200ms, gerado com um pulso positivo na entrada RESET |
| StoerHochl | Se nenhum sinal "0" do pressostato de ar for detectado durante o tempo de ventilação, o sinalizador "Erro de inicialização" é gerado. Este sinalizador só pode ser reiniciado desligando a unidade de controle. DO1 está ligado. |
| StoerBetrieb | O Sinalizador "Erro de operação" é definido uma vez que o período "T APS" tenha terminado e o sinalizador do Pressostato de ar torne-se "0", ele pode ser redefinido pelo sinalizador Reset. DO1 está ligado. |
| Purga ok | Uma vez que o PLC é iniciado, o pressostato de ar deve ser ativado durante todo o período de purga, depois disso o sinalizador "Purga ok" é definido. Este sinalizador só é resetado se a unidade de controle for trocada/desligado |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Como função adicional para manter a disponibilidade do sistema em alto nível, um manômetro de pressão diferencial é conectado em paralelo com o pressostato de fluxo de ar, evitando um desligamento de segurança pelo pressostato durante os processos de regulação pelo PLC externo de segurança, nesse caso é utilizado um STL, que é instalado dentro da câmara de mistura. Este dispositivo também está conectado com o PLC externo.

O queimador é desligado pela unidade de PLC externa caso a temperatura nominal nos pontos de medição do túnel de retração ainda for muito alta com o sistema funcionando com potência mínima. O dispositivo de disparo automático é comutado para o modo de espera pela demanda de calor, neste caso ele passará pelo procedimento de partida e parada parametrizado, o dispositivo de disparo automático não monitora nenhum interruptor de ar. No modo de aquecimento regular, o queimador é modulado pelo PLC externo através da entrada de controle 0-10V.

Uma vez que o dispositivo de disparo automático tenha sido ativado e se o túnel de retração estiver ligado, o interruptor de ar é monitorado continuamente pelo PLC. Ao utilizar um sensor de pressão diferencial, que é conectado paralelamente ao pressostato diferencial, e

cujo valor de saída analógica é avaliado diretamente pela unidade PLC externa, a comutação do pressostato é evitada se forem modulados valores de potência muito baixos, com todos os pontos de operação do túnel de retração (diferentes contrapressões dentro da câmara de mistura dependendo da posição da aba e da temperatura).

Esta função é utilizada para aumentar a disponibilidade do sistema e não afeta a segurança do sistema. O limitador de temperatura de segurança que está disposto dentro da câmara de mistura, garante que a demanda de calor seja habilitada pelo dispositivo de disparo automático através da unidade PLC externa. O indicador On/Off do dispositivo de disparo automático é comutado para o PLC externo através do relé de interface K5, pode-se observar todos os relés de interface do K1 ao K8 e suas funcionalidades no quadro 8.

Quadro 8 - Visão geral funcional dos relés de interface K1 a K8

| Identificação | Componente | Descrição funcional |
|---------------|-------------------|--|
| K1 | Relé de interface | Indicador de erro do PLC de segurança: 24V comuta + 24V no PLC externo |
| K2 | Relé de interface | Função de desbloqueio remoto para o dispositivo de disparo automático: +24V do PLC externo, com interruptores 230V/50Hz |
| K3 | Relé de interface | Função indicadora de erro para o dispositivo de disparo automático: 230V/50Hz alterna +24V para PLC externo |
| K4 | Relé de interface | Verifica a demanda do ramal do PLC: +24V do ramal PLC comuta 230V/50Hz para o dispositivo de disparo automático |
| K5 | Relé de interface | Indicador de ligar/desligar para o dispositivo de disparo automático: 230V/50Hz comuta +24V para o PC externo |
| K6 | Relé de interface | Alimentação de tensão para o soprador de ar de combustão: 24V dos interruptores do PLC de segurança 230V/50Hz do soprador de ar de combustão (NF - Normalmente fechado) |
| K7 | Relé de interface | CO - Operação de interruptor de Alarme, operação 24V, comuta +24V para o ramal. NA - contato normalmente aberto - Se o sensor estiver em operação, o contato estiver aberto ele será fechado em caso de falha interna |
| K8 | Relé de interface | CO - Alerta de Interruptor de alarme, CO-Alarme 24V, alterna +24V para o ramal. PLC, NA - contato normalmente aberto - Se o sensor detectar uma concentração de CO maior do que o nível de alarme ajustado, o contato será fechado |

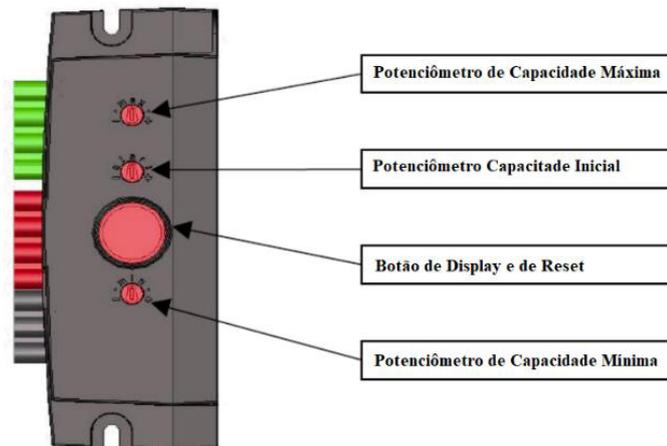
Se ocorrer um desligamento incorreto devido a um erro, que foi detectado pelo dispositivo de disparo automático, uma mensagem de erro é transmitida ao PLC externo através do relé de interface K3. É possível desbloquear este estado do PLC externo através do relé de interface K2. Se ocorrerem 5 ou mais tentativas de desbloqueio remoto dentro de 15 minutos, o dispositivo de disparo automático deve ser desbloqueado diretamente usando o botão no gabinete. O sinal do PLC externo referente ao desbloqueio remoto do sistema após um erro é enviado em paralelo ao relé de interface K2 para o desbloqueio do dispositivo de disparo automático e à entrada de reset do PLC de segurança.

O PLC de segurança ignorará esta entrada se o monitor de ar não apresentar erro. O sensor de pressão diferencial entre a câmara de combustão e a saída do soprador de ar de combustão, como pode observar na Figura 10. O sensor de pressão diferencial está conectado diretamente ao PLC externo e não possui função relevante para a segurança. No modo de controle, diferentes pressões na câmara de combustão ocorrem com diferentes posições das abas na câmara de mistura e com diferentes temperaturas de operação. Ao utilizar o sensor de pressão diferencial, evita-se o desligamento do queimador por potência baixa (pressão diferencial) aumentando o valor nominal em todas as condições de operação.

3.2.1. Indicação e eliminação de erros

Em caso de mau funcionamento, uma mensagem de erro é exibida no PLC externo. Se o desbloqueio remoto através do PLC externo não for bem-sucedido, a caixa do queimador deve ser aberta. Uma vez que a caixa de comutação é aberta, é possível ler o código de erro no visor do dispositivo de disparo automático. O Display, apresentado na Figura 15, possui um botão, nesse botão indicado na Figura é visto por meio de qual estado de erro pode ser desbloqueado.

Figura 15 - Display e botão “Reset” no dispositivo de disparo automático



Fonte: Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Em operação normal, o display mostrará a etapa atual do programa do dispositivo de disparo automático, as etapas são descritas no quadro 9, é importante para a funcionalidade do sistema que seja seguido a sequência corretamente durante a resolução de problemas.

Quadro 9 - Etapas do programa

| Nº | Etapas do Programa | Descrição |
|----|--|---|
| 0 | Standby (Espera) | Aguardando a demanda de calor, todos os atuadores desligados |
| 1 | Verificação de suspensão | Verificação da parada do ventilador; APS-OFF-CHECK |
| 2 | Verificação de purga | Verificação da velocidade do ventilador; APS-ON-CHECK |
| 3 | Purga* | Ventilador: velocidade do purga; o tempo é parâmetro |
| 4 | Aguardando a velocidade de ignição | Aguardando até que o ventilador atinja a velocidade de ignição |
| 5 | Tempo de segurança | Ignição e válvulas de gás ligadas, Ventilador: Velocidade de ignição; O tempo é parâmetro |
| 6 | Tempo de estabilização de chama | Ventilador: velocidade de ignição para estabilização da chama, o tempo é parâmetro |
| 7 | Funcionamento do queimador | Ventilador: Velocidade de modulação |
| 8 | Verificação do circuito da válvula de gás V1/V2 *2 | Verificação de aperto das válvulas de gás com sinal de chama |
| 9 | Pós-purga | Ventilador: Velocidade de pós-purga; O tempo é parâmetro |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No quadro 10 é representado quais os tipos de erros possíveis, seus códigos, incluindo uma descrição das possíveis razões para esse erro e a sua eliminação.

Quadro 10 - Códigos e possíveis erros e resoluções

| Nº | Erro | Explicação | Motivo/Resolução |
|----|-------------------------------------|---|---|
| 1 | Falha no Ventilador/Soprador | Desvio do valor de RPM real do valor de RPM nominal > 300 RPM por 25 segundos ou maior que o RPM máximo parametrizado por 5 segundos, ou menor que 600 RPM. | Parâmetros de controle e RPM - Os limites não estão corretamente parametrizados - Devem ser adaptados (Devem ser configurados apenas pelo fabricante) |
| 2 | Falha de pressão de gás | Os pressostatos de gás não comutaram | Válvula de gás fechada: Pressão do gás muito alta é necessário abrir a válvula; Verificar: Se o ponto de disparo do pressostato de gás foi manipulado; Reajuste apenas pelo fabricante; Interruptor de gás com defeito: Substituir |
| 3 | Falha na chama | Sem sinal de ionização enquanto o queimador inicia Perda do sinal de ionização durante o funcionamento O sinal de ionização está presente no modo de espera | Se a posição do eletrodo de ionização está incorreta: Reajustar Eletrodo de ionização desgastado: Substituir Mau contato do eletrodo com o plugue: Substituir |
| 4 | Falha de BCC | Erro ao usar um cartão com chip de gravação (BCC) | Irrelevante |
| 5 | Falha no controle remoto de reset | O botão de desbloqueio remoto foi pressionado 5 vezes em 15 minutos | Solução de problemas e eliminação de erros: Desbloquear o estado de erro no botão de exibição do dispositivo de disparo automático |
| 6 | Falha de gás no circuito de válvula | Erro durante a verificação de vazamento de gás | Não habilitado |

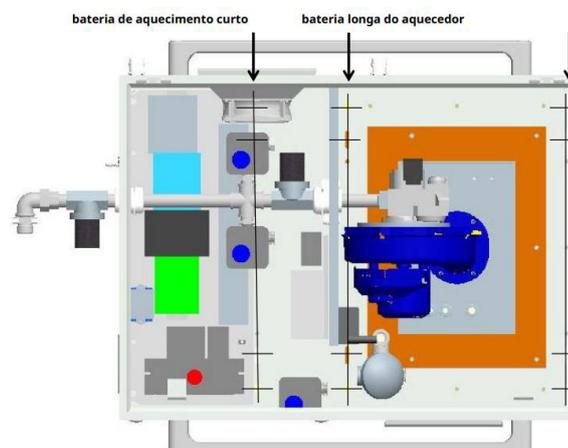
| | | | |
|---|-----------------------------------|---|--|
| 7 | Falha de pressão de ar | O pressostato de ar não comuta durante a partida ou cai em operação | Fluxo de ar muito baixo ou filtro bloqueado: Substituir Reajuste pelo fabricante Interruptor de ar com defeito: Substituir |
| 8 | Falha de CRC | Combinação de parâmetros incorreta | Ajustar parâmetros - Irrelevante |
| 9 | Falha de Potência de Fornecimento | A Fonte de alimentação está fora da faixa de tolerância | Verificar fonte de alimentação |
| E | Baixo fecho de segurança | Desligamento pelo sistema operacional de segurança | Reinicie, substituir o dispositivo de disparo automático se isso ocorrer repetidamente |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.3. Instalação do sistema de queimadores

O sistema de queimadores é instalado utilizando três etapas: 1° - É realizada a desmontagem do compartimento do queimador; 2° - O queimador é inserido com a placa de flange primeiro por cima na caixa do aquecedor e deve ser preso nas alças fixadas nas laterais do compartimento do queimador e abaixado lentamente até a posição; 3° - A placa flangeada é fixada na caixa do aquecedor usando os mesmos parafusos da bateria do aquecedor elétrico como observado na Figura 16, então deve-se assegurar que a placa flangeada esteja em contato com o cordão de vedação em toda a volta e que os parafusos de fixação sejam apertados uniformemente em sequência cruzada, a estanqueidade deve ser verificada.

Figura 16 - Fixação das baterias de aquecimento



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

A conexão de gás deve ser feita usando uma mangueira de gás incluindo uma porca de capa $\frac{3}{4}$ com uma vedação plana na válvula de gás, deve-se garantir um encaixe adequado na extremidade no tubo de instalação de gás estacionário, como se pode observar na Figura 16. A tubulação de gás deve ser dimensionada de acordo com o desempenho do queimador, ou seja, de acordo com a vazão e a pressão de fluxo de gás disponível, e deve ser direcionado ao queimador no caminho mais curto e com a menor perda de pressão possível, a pressão do gás na válvula de gás deve ficar dentro da faixa especificada (quadro 03) para garantir o funcionamento adequado.

As conexões feitas devem ser verificadas quanto ao aperto antes do comissionamento, a norma “DVGW TRGI 08” deve ser seguida para a parte de instalação do gás. Para verificar a pressão do fluxo de gás é necessário que a pressão primária na união do monitor de pressão do gás seja medida, assim para garantir que os valores de pressão de fluxo especificados no quadro 03 são atendidas em relação a todas as condições operacionais individuais. Ademais, todos os trabalhos de instalação elétrica, em particular as medidas de proteção devem ser realizadas de acordo com os regulamentos da NBR 5410 e NBR 14039, os diagramas das ligações elétricas podem ser visualizados nas Figuras 11, 12 e 13.

3.4. Comissionamento e manutenção

Realizar o comissionamento é importante pois com ele é possível visualizar e determinar se o sistema instalado está de acordo com o proposto, além de estar protegido, instalado corretamente e pronto para utilização. O comissionamento é realizado pelo técnico especializado no equipamento, após isso no caso da indústria a qual o equipamento está empregado, é necessário que sejam treinados todos os demais técnicos que ficarão responsáveis pelo equipamento. O comissionamento do equipamento em questão deve seguir os checklists estabelecido nos quadros 11 e 12.

Quadro 11 - Checklist pré-operação forno a gás

| Nº | Análise |
|----|--|
| 1º | O tipo de gás na linha de gás corresponde ao tipo fornecido na placa de identificação do queimador ou no protocolo de comissionamento. |

- 2º O pressostato de gás está ajustado para que a máxima pressão do gás seja de 60 [mbar]
- 3º O pressostato de gás está ajustado para que o mínimo de pressão do gás seja de 10 [mbar]
- 4º O pressostato de ar está ajustado para 0,6 [mbar]
- 5º A faixa de operação da pressão estática na linha de gás deve estar entre 18 e 65 [mbar]
- 6º Inspeção visual da instalação quanto a danos térmicos, mecânicos e contaminação.
- 7º Inspeção visual e, se necessário, troca do filtro de ar dentro do compartimento do queimador
- 8º Inspeção visual e, se necessário, troca dos eletrodos de ignição
- 9º Inspeção visual da cerâmica do queimador
- 10º Exame do aperto das conexões de gás e das linhas de alimentação de gás
- 11º Verificação da função para interruptor de alarme de CO (fluxo e limite do interruptor)
- 12º Verificação da linha externa de regulação de gás conforme DVGW Planilha G 491 – também um protocolo de uma empresa habilitada e qualificada conforme G 493

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No quadro 12 está descrito o checklist de comissionamento que deve ser realizado durante operação do forno a gás, e esse comissionamento deve ser seguido posteriormente no dia a dia da operação.

Quadro 12 - Checklist durante operação forno a gás

| Nº | Análise |
|----|---|
| 1º | Verificação do funcionamento do arranque do queimador |

- 2° Verificação da conexão da vedação entre a câmara de mistura e o flange do queimador
 - 3° Verificação da pressão de fluxo de gás adequada em força/velocidade máxima
 - 4° Verificação da relação ar/combustível, se necessário correção ou reajuste para o tipo de gás informado no manual
 - 5° Valores de ajuste relação ar-combustível / CO / Nox
 - 6° Verificação da corrente de ionização
-

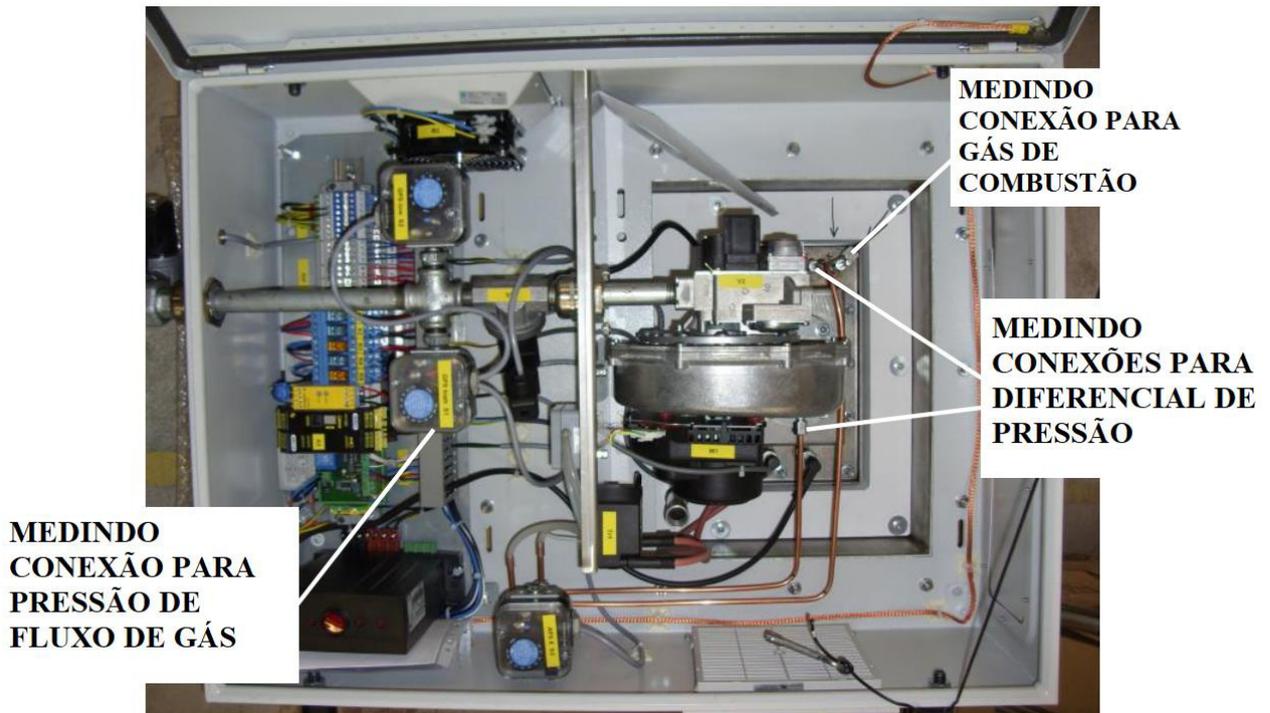
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O queimador é fornecido com um tipo de gás padrão configurado. O sistema de queimadores é adequado para uso com os tipos de gás especificados na placa de identificação e no quadro 3. A proporção de ar deve ser adaptada e registrada no protocolo de comissionamento caso seja usado um gás diferente do tipo de gás padrão configurado para o queimador, o funcionamento correto do eletrodo de ionização garante que um fluxo suficiente de ionização esteja disponível para reconhecer com segurança a chama por meio do dispositivo de disparo automático.

O fluxo de ionização é medido usando um microamperímetro, que é conectado entre o eletrodo de ionização e o plugue do eletrodo de ionização. O sistema do queimador deve estar desligado para conectar o microamperímetro (faixa $\mu\text{A DC}$). O valor deve ser $> 3 \mu\text{A}$ na partida a plena carga e no modo aquecimento. É importante que seja verificado antes do comissionamento se o tipo de gás fornecido pela empresa fornecedora de gás corresponde ao tipo de gás padrão, conforme configurado para o queimador no sistema de queimador fornecido.

Com o primeiro acendimento do queimador, os solenoides de corte de gás se abrem primeiro e ventilam o tubo de gás, ou seja, é possível que o queimador acenda apenas com 2° ou 3° tentativa de arranque, e isso não é um defeito. Com o comissionamento inicial do queimador, após medir a pressão primária do monitor de pressão de gás, a conexão de medição é fixada por um parafuso, que deve ser afrouxado para o processo de medição, verifica-se na Figura 17 os locais de conexão de medição de pressão no monitor de pressão de gás. A relação de ar é medida usando um medidor de gás de combustão adequado.

Figura 17 - Fixação da unidade do queimador no túnel de retração



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Primeiro deve-se abrir o plug e o medidor de gás de combustão deve ser conectado usando uma mangueira de silicone flexível. Para realizar a medição dos gases de combustão, o túnel deve ser iniciado usando a unidade PLC externa, e o queimador deve ser operado com alta potência no modo de aquecimento para evitar que o ar dentro da câmara de mistura afete a medição. Pode-se encontrar o valor nominal para a taxa de ar no quadro 03. Caso a faixa de ar esteja fora da faixa nominal, ela deve ser corrigida.

3.4.1. Inspeção e manutenção do sistema

A inspeção e manutenção devem ser realizadas por um técnico especialista do equipamento, os intervalos dessas atividades devem ocorrer de forma regular, devem ser realizadas pelo menos uma vez por ano, mas esse tempo pode ser menor dependendo das condições do local ou do equipamento, inclusive para que haja economia de energia, de custos e recursos, dessa forma aumentando também os ciclos de vida dos componentes do forno. Deve-se utilizar como apoio para as atividades os checklists de comissionamento listados nos quadros 13 e 14. Antes de realizar qualquer trabalho é necessário que o sistema esteja parado e a alimentação do queimador deve ser desconectada.

A inspeção deve ser registrada pelo técnico especializado no protocolo de comissionamento e manutenção. Todas as conexões de gás devem ser verificadas quanto a estanqueidade externa, mangueiras e conexões também devem ser verificadas quanto a danos. As partes cerâmicas do queimador não devem apresentar rachaduras ou outros danos, para verificar isso, a câmara de combustão deve ser desmontada, os eletrodos de ignição também envelhecem, desde que o queimador acenda sem erros, não é necessário substituir os eletrodos de ignição. Para substituir ou inspecionar os eletrodos de ignição deve ser seguido os passos do quadro 13.

Quadro 13 - Passos inspecionar os eletrodos de ignição

| Nº | Passo |
|----|---|
| 1 | Fechar a válvula de gás e desligar a alimentação do sistema |
| 2 | Desconectar o plugue Harting que conecta a caixa de terminais |
| 3 | Remova a caixa do queimador (afrouxe os parafusos de fixação) |
| 4 | Desapertar os 4 parafusos (4xM10) para fixar a unidade do queimador ao túnel de retração |
| 5 | Remover o sistema de queimadores do túnel de retração e colocando-o em um local adequado (por exemplo, em um bloco de montagem) próximo ao sistema. |
| 6 | Remover os parafusos 2*7 da câmara de combustão (Conforme Figura 16) |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Após os eletrodos estarem soltos e acessíveis do lado da câmara de combustão, é possível verificar a sua posição e o seu estado conforme a Figura 19, se a posição do eletrodo necessitar ser corrigida, os eletrodos devem ser dobrados utilizando um maçarico de acordo com as pinças, caso a substituição seja necessária, deve-se seguir os passos estabelecidos no quadro 14. A montagem deve ser realizada invertendo a ordem das etapas de trabalho para a desmontagem. Os parafusos devem ser tratados com um lubrificante especial resistente a altas temperaturas. Novos eletrodos são entregues pré-moldados, mas devem ser torcidos na posição correta antes de serem fixados e podem ter que ser aquecidos para dobrá-los na posição correta.

Quadro 14 - Passos substituir os eletrodos de ignição

| Nº | Passo |
|----|---|
| 1 | Soltar a conexão de fixação do eletrodo na parte superior |
| 2 | Remova os eletrodos do lado da câmara de combustão |
| 3 | Inserir os eletrodos de substituição do lado da câmara de combustão e posicioná-los |
| 4 | Apertar os parafusos de fixação |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 18 demonstra os elementos de fixação da câmara de combustão com 14 elementos dispostos.

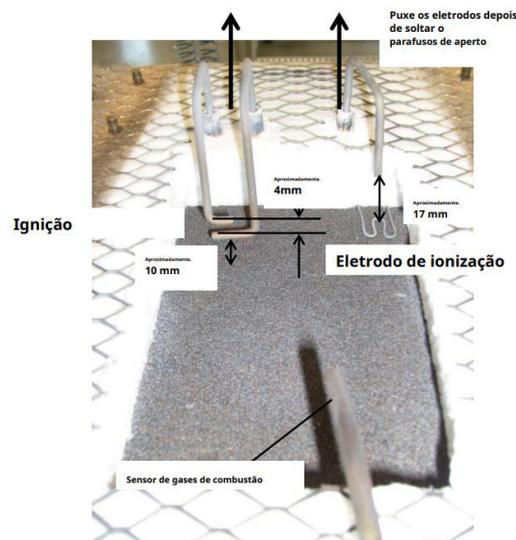
Figura 18 - Elementos de fixação da câmara de combustão



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

A figura 19 demonstra a disposição do eletrodo de ignição, eletrodo de ionização e do sensor de gases.

Figura 19 - Posição correta dos eletrodos de ignição e ionização



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Não é necessário limpar o queimador, mas dependendo do grau de poluição do ar com as partículas, o filtro de ar deve ser substituído em intervalos regulares. Para substituição, deve-se primeiro destravar a tampa da tela do ventilador do filtro localizado ao lado, usando uma pequena chave de fenda, como apresentado na Figura 20, depois remover a tela e substituir a lã do filtro.

Figura 20 - Troca do filtro de ar no ventilador do filtro Rittal



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

A relação de ar só deve ser ajustada por um técnico especializado. A configuração é ajustada no redutor de injeção principal do injetor Venturi, como apresentado na Figura 21, usando a chave Allen tamanho 4 ou uma chave de fenda, deve-se proceder o ajuste da proporção de ar como descrito no quadro 15. Caso o queimador deixe de funcionar após a modificação da proporção de ar, é necessário verificar as seguintes configurações:

Medir a posição do parafuso em relação ao redutor de injeção principal e à borda superior da luva guia usando o medidor de profundidade de uma pinça (o valor medido deve ser de aproximadamente 11mm para gás natural. Para reajuste para gás líquido, o parafuso deve ser apertado em aproximadamente 3-4 voltas completas. A inicialização do sistema deve ser possível usando esses valores de configuração. Em todos os casos, o ajuste fino deve ser feito usando o medidor de gases de combustão.

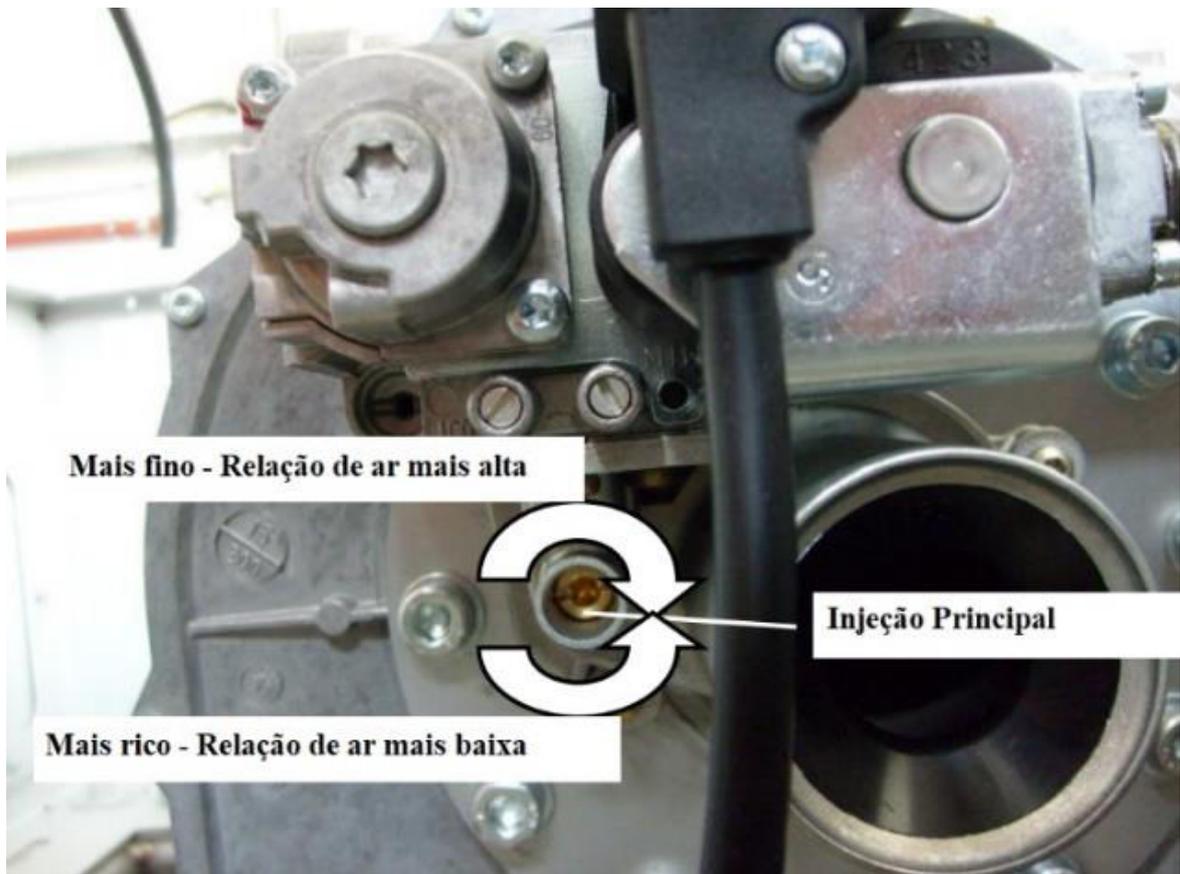
Quadro 15 - Passos para ajustar a proporção de ar

| Nº | Passo |
|----|--|
| 1 | Abrir o gabinete do queimador |
| 2 | Conectar um medidor de gás de combustão à conexão de exaustão |
| 3 | Iniciar o sistema usando o PLC externo no modo aquecedor (com alta potência) |
| 4 | Corrigir o redutor de injeção principal passo a passo (cada vez um quarto de volta) e esperar cada vez até que o valor da medição seja estabilizado no medidor de gás de combustão |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A figura 21 demonstra qual a direção para realizar ajustes finos relacionados a proporção de ar na câmara.

Figura 21 - Ajuste da proporção de ar



Fonte: Promeos, Manual de Instalação e Instruções do Sistema de Queimador KHS (2012).

Uma verificação do componente opcional do interruptor de alarme de CO deve ser realizada como parte da revisão anual do sistema. Uma verificação funcional do sistema externo de redução da pressão de gás, deve ser realizada como parte da revisão anual do sistema. Somente um especialista com qualificação de acordo com a folha de trabalho DVGW G493-1, norma essa que se refere aos critérios de qualificação para projetistas e fabricantes de estações reguladoras de pressão de gás, de medição de gás e usinas de injeção de biogás, está autorizado a realizar a inspeção e verificação funcional.

4. FORNO À RESISTÊNCIA ELÉTRICA

4.1. Informações Gerais

O forno à resistência elétrica utiliza como princípio de funcionamento conjuntos de resistências que recebem energia elétrica e transformam em calor, em paralelo a um soprador que empurra esse ar quente para as mangueiras, dessa forma o ar é enviado das resistências ao túnel de retração que é distribuído uniformemente dentro do forno, nesse caso nenhuma combustão é realizada nesse sistema, ou seja, não tem necessidade de extração de gases.

Para estudo e comparação foi utilizado como referência um forno que utiliza um sistema à resistência elétrica no mesmo equipamento do capítulo anterior: Empacotadora de latas do tipo Shrink Packer – Innopack Kisters SP A-H 89404282 da fabricante KHS, ou seja, a máquina possui os mesmos módulos citados: M01 – Entrada de produto; M02 – Formatar; M04 – Envolver; M07 – Retrair. Pode-se recapitular observando a Figura 06. Dessa forma, o sistema de aquecedores é instalado no M07 (Figura 07). No quadro 16 está descrito o esquemático do funcionamento do forno à resistências elétricas.

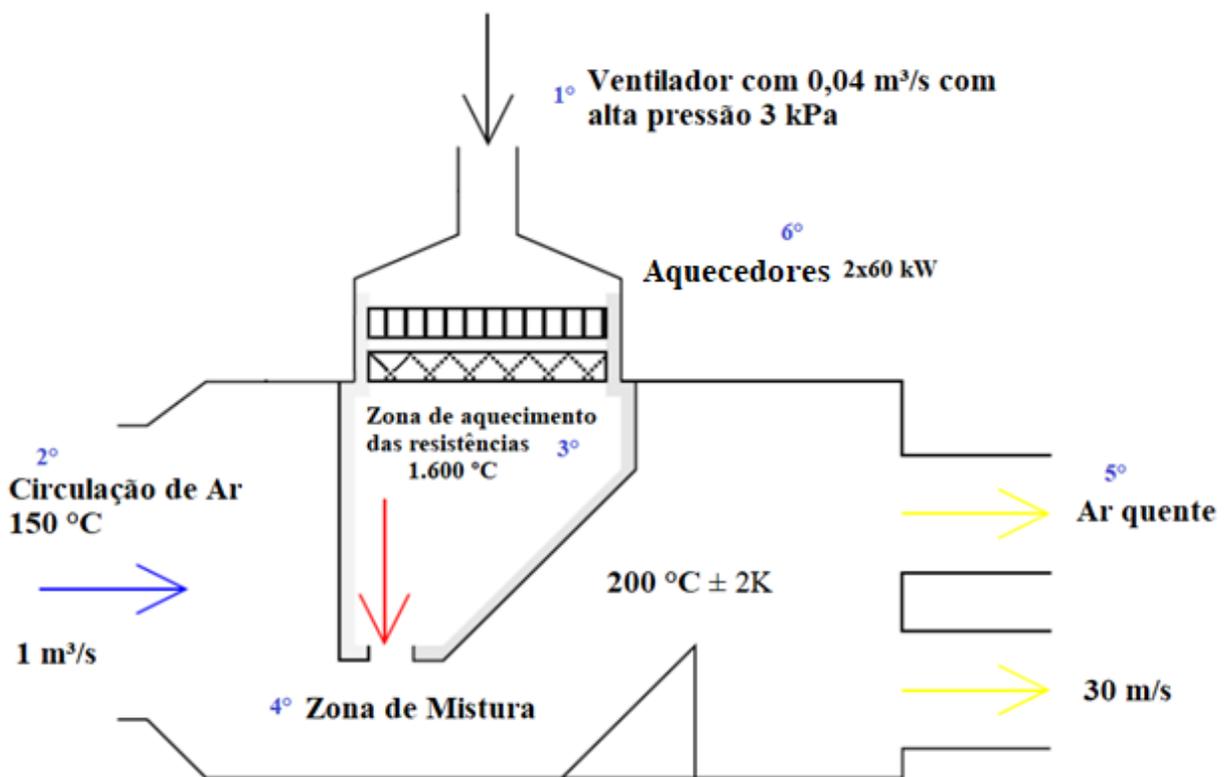
Quadro 16 - Descrição do esquemático do funcionamento do forno à resistências elétricas

| Nº | Descrição | Função | Dados |
|----|--------------------------------------|---|---|
| 1º | Ventilador | "Empurrar"/Circular o ar quente para dentro do sistema | Velocidade a 0,04 m³/s Pressão: 3 kPa |
| 2º | Circulação de Ar | Entrada de ar para a zona de mistura | Velocidade: 1,0 m³/s Temperatura: 150°C |
| 3º | Zona de aquecimento das resistências | Área onde ocorre a transformação de energia elétrica em calor | Temperatura: 1.600 °C |
| 4º | Zona de Mistura | Área onde ocorre a mistura do ar quente e o ar ambiente | Temperatura: 200 °C ± 2K |
| 5º | Saída do Ar | Saída do ar pós zona de mistura | Temperatura: 200 °C Velocidade: 30 m/s |
| 6º | Aquecedores | Aquecedores onde ocorre a geração de calor | Quantidade: 2 Potência individual: 60 kW |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os componentes são integrados na saída da câmara do forno e proporcionam o processo de mistura do ar quente e o ar ambiente que está circulando no túnel de retração, os aquecedores são operados dentro de uma câmara que os protege do fluxo de ar ambiente que está entrando no sistema. O esquemático do funcionamento do sistema está descrito no quadro 16 e exemplificado na Figura 22, segue-se o mesmo padrão do forno anterior, ou seja, a temperatura de dentro da câmara de mistura nunca deve exceder 300 °C.

Figura 22 - Esquemático do processo de funcionamento do forno à resistências elétricas



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os aquecedores desse esquemático fazem parte de uma máquina, e devem ser comissionados apenas quando estiverem posicionados corretamente no local de instalação, além de estar cumprindo todas as normas de segurança. O projeto foi estruturado para que funcione em ambientes fechados, porém em ambientes com alto fluxo de poeira, vapor e com umidade esse esquemático não atende, e os aquecedores nessas condições não podem ser comissionados.

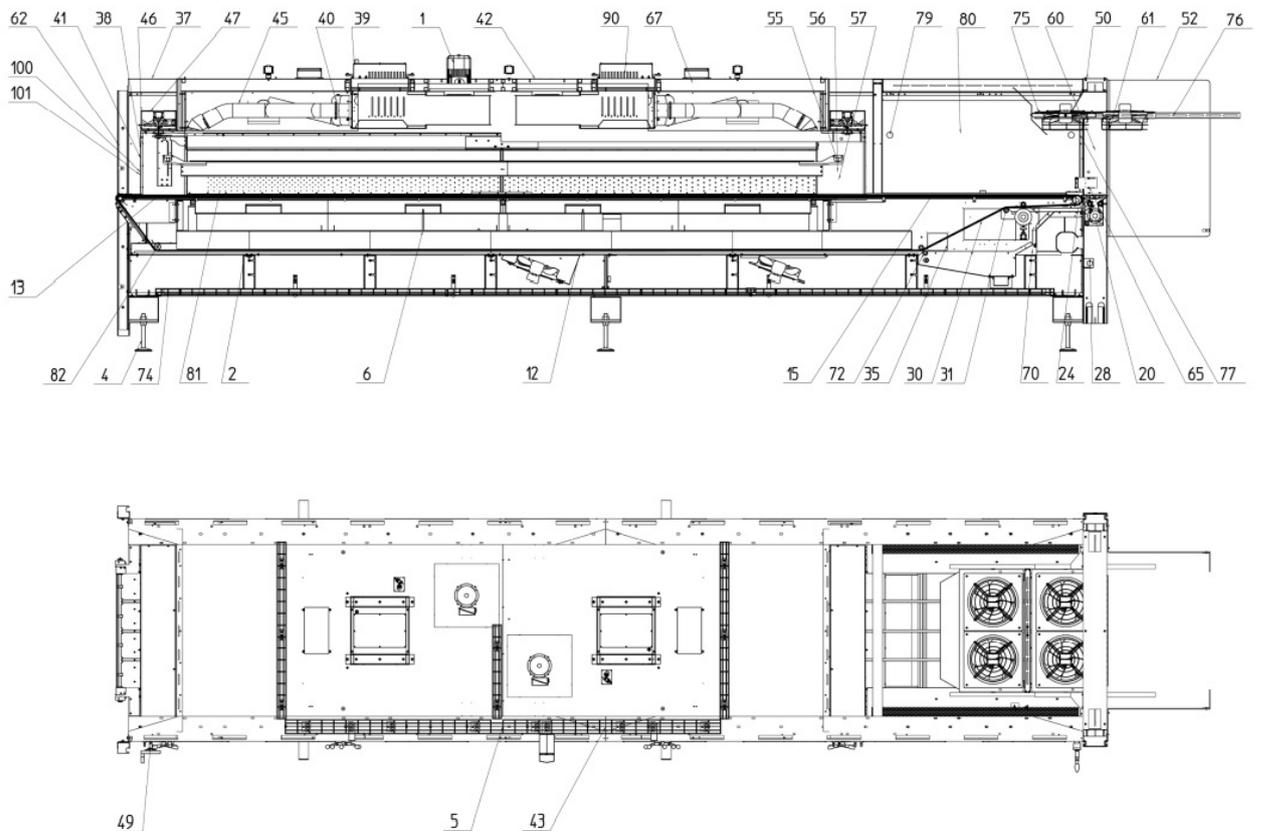
4.2. Descrição do sistema do aquecedor à resistência elétrica

O forno é composto por diversos componentes, como pode-se verificar as imagens dos componentes nas Figuras 24, 24 A, 24 B e 24 C as descrições de todos os componentes sinalizados nas Figuras 23 e 23 A. No entanto, para o estudo em questão, é necessário ter atenção para a área onde fica armazenado o sistema de aquecimento (figura 29), no mais a caixa de controle onde fica armazenado o sistema de aquecimento é semelhante a apresentada na Figura 10, cada aquecedor possui três conjuntos de resistência, cada conjunto de resistência possui 4 elementos de aquecimento, cada elemento de aquecimento possui 5 kW de potência.

$$\text{Potência do aquecedor [kW]} = 5 \text{ [kW]} \times 3 \times 4 = 60 \text{ [kW]} \quad (1)$$

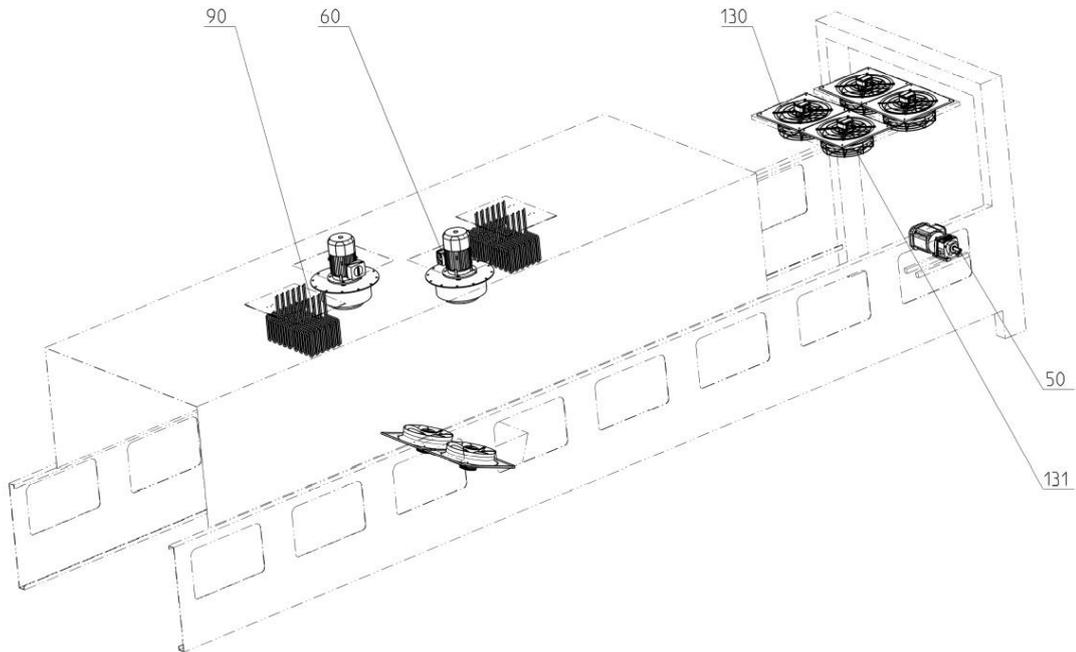
$$\text{Potência total aquecedor [kW]} = 60 \text{ [kW]} \times 2 = 120 \text{ [kW]} \quad (2)$$

Figura 23 - Visualização do M07 e seus componentes



Fonte: KHS, Lista de materiais sobressalentes Shrink Packer SP A-H (p. 630, 2022).

Figura 23 A - Visualização da localização das resistências



Fonte: KHS, Lista de materiais sobressalentes Shrink Packer SP A-H (p. 636, 2022).

Figura 24 - Descrição 1 dos componentes forno

| Item | Número de peça | Designação | Quantidade | Unidade | P | A | V 1 | V 1 | Z | Observação | Página |
|------|----------------|---|------------|-----------------|---|---|-------|-----|---|------------|--------|
| 1 | 25337262S001 | lista de motores_túnel de escolhimento_ Motorenliste_Schrumpftunnel_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 636 |
| 2 | 25306554S001 | corpo em bruto_completo_1000er Transport Rohkörper_komplett_1000er Transportbrei | 1,000 | Peças Stück | | | | | | | 640 |
| 4 | 25307223S001 | pé_completo_ Fuß_komplett_ | 6,000 | Peças Stück | E | | | | | | 650 |
| 5 | 25308171S001 | eletrocalha_corpo em bruto_1000breit; 8m Kabelkanal_Rohkörper_1000breit; 8m | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 652 |
| 12 | 25306793S001 | guia de corrente_completo_ Kettenführung_komplett_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 654 |
| 13 | 25306683S001 | apoio da correia_perfil de plástico_ Gurtauflege_Kunststoffprofil_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | |
| 20 | 25306788S001 | esteira de transferência_ Übergangsband_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 668 |
| 24 | 25306970S001 | acionamento_túnel de escolhimento_ Antrieb_Schrumpftunnel_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 682 |
| 28 | 25306904S001 | manivela_direita_ Handkurbel_rechts_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 688 |
| 30 | 301999950441 | correia de elos de arame_ Drahtsengliedergurt_ | 16,400 | Metros Meter | V | | 28000 | 48 | | | 692 |
| 31 | K9160003799 | conector_correia de elos de arame_ Verbinder_Drahtsengliedergurt_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 694 |
| 35 | 25307196S001 | sistema de lubrificação_transmissão por Schmiersystem_Kettentrieb_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 696 |
| 37 | 25309564S001 | revestimento externo_tampa de cobertura_ Aussenverkleidung_Abdeckhaube_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 702 |
| 38 | 25307062S001 | calota_túnel de escolhimento_ Haube_Schrumpftunnel_ | 1,000 | Peças Stück | | | | | | | 710 |
| 39 | 25330715S001 | aquecedor_completo_ Heizregister_komplett_ | 2,000 | Peças Stück | E | | | | | | 714 |
| 41 | 25306523S001 | cortina_completo_ Vorhang_komplett_ | 2,000 | Peças Stück | E | | | | | | 722 |
| 42 | 25308458S001 | eletrocalha_completo_8m lang 1000 breit Kabelkanal_komplett_8m lang 1000 breit | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | |
| 45 | 25308075S001 | bocal_completo_und Zubehör Düse_komplett_und Zubehör | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 724 |

Fonte: KHS, Lista de materiais sobressalentes Shrink Packer SP A-H (p. 631, 2022).

Figura 24 A - Descrição 2 dos componentes forno

| Item | Número de peça | Designação | Quantidade | Unidade | P | A | V 1 | V 1 | Z | Observação | Página |
|------|----------------|---|------------|----------------|---|---|-----|-----|---|------------|--------|
| 46 | 25307411S001 | ajuste do bocal_completo_3-bahnig Düsenverstellung_komplett_3-bahnig | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 726 |
| 47 | 25307601S001 | indicador de posição_ajuste do bocal_IV Positionsanzeiger_Düsenverstellung_IVO | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 742 |
| 50 | 25307253S001 | revestimento de saída_completo_ Auslaufverkleidung_komplett_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 744 |
| 52 | 25303968S001 | revestimento de proteção giratório_ST700 Schutzverkleidung_schwenkbar_ST700/1000 | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 748 |
| 55 | 25306857S001 | regulagem de altura_placa de desvio_ Höhenverstellung_Leitblech_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 752 |
| 56 | 25309184S001 | regulagem_completo_ Verstellung_komplett_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 766 |
| 57 | 25307603S001 | indicador de posição_display digital_ Positionsanzeiger_Digitalanzeige_ | 2,000 | Peças Stück | E | | | | | | 768 |
| 65 | 25310187S001 | conjunto de sensores_túnel de escolhimen Sensorbaugruppen_Schrumpftunnel_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 770 |
| 67 | 25307593S001 | regulagem_acionamento da tampa_ Verstellung_Klappenantrieb_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 772 |
| 69 | 301132620901 | parafuso olhal_rotativo_ Ringschraube_drehbar_ | 6,000 | Peças Stück | E | | | | | | |
| 70 | 25306608S001 | estação de limpeza_correia de arame_ST 1 Reinigungsstation_Drahtgurt_ST 1000 | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 774 |
| 72 | K9160005329 | peças pneumáticas_estação de limpeza_Fes Pneumatikteile_Reinigungsstation_Festo | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 784 |
| 74 | 25306499S001 | transporte auxiliar_mancal_1000 Transporthilfe_Kranverladung_1000 | 1,000 | Peças Stück | | | | | | | 786 |
| 75 | 25306974S001 | suporte da ventoinha de refrigeração_pac Kühlgebläsehalter_Packung_ | 1,000 | Peças Stück | | | | | | | 788 |
| 77 | 25307040S001 | suporte iluminação_ Halter_Beleuchtung_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | |
| 79 | 301212123090 | indicador de posição_elétrico_ Positionsanzeiger_elektrisch_ | 4,000 | Peças Stück | E | | | | X | | |
| 80 | 25308602S001 | guia lateral_completo_ Seitenführung_komplett_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 790 |
| 82 | 25307998S001 | monitorização de temperatura_corrente tr Temperaturüberwachung_Transportkette_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | |

Fonte: KHS, Lista de materiais sobressalentes Shrink Packer SP A-H (p. 633, 2022).

Figura 24 B - Descrição 3 dos componentes forno

| Item | Número de peça | Designação | Quantidade | Unidade | P | A | V 1 | V 1 | Z | Observação | Página |
|------|----------------|--|------------|----------------|---|---|-----|-----|---|------------|--------|
| 100 | 25310264S001 | persiana_túnel de escolhimento_ Rollade_Schrumpftunnel_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 798 |
| 101 | 25310213S001 | sensores_persiana_ Sensorik_Rollladen_ | 1,000 | Peças Stück | E | | | | | | 800 |

Fonte: KHS, Lista de materiais sobressalentes Shrink Packer SP A-H (p. 635, 2022).

Figura 24 C - Descrição 4 dos componentes forno

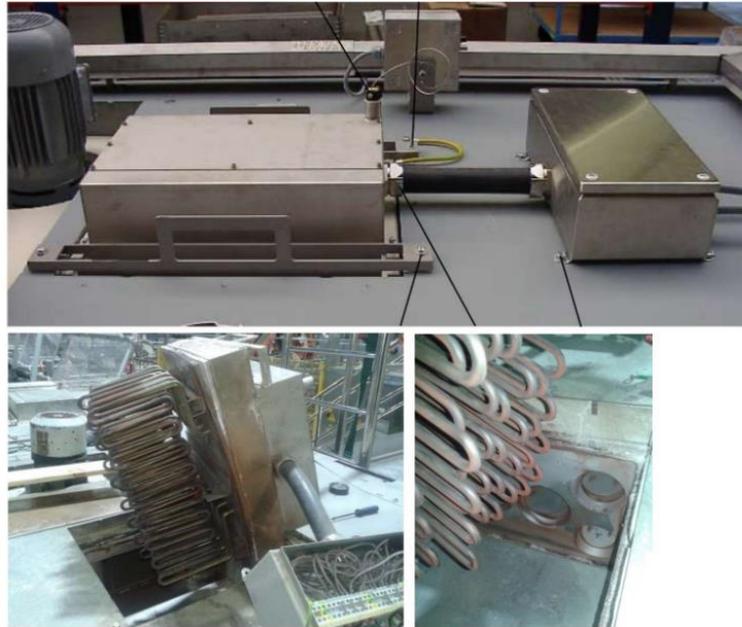
| Item | Número de peça | Designação | Quantidade | Unidade | P | A | V 1 | V 1 | Z | Observação | Página |
|------|----------------|--|------------|----------------|---|---|-----|-----|---|----------------------------|--------|
| 50 | 301112580770 | motoredutor_kW1,1 n= 75 F M1/0° Getriebemotor_kW1,1 n= 75 F M1/0° | 1,000 | Peças Stück | E | X | | | | Antrieb Transport | |
| 60 | 25307132S001 | motor de água quente_completo_ Heißlüftermotor_komplett_ | 2,000 | Peças Stück | E | X | | | | Heissluftgebläse | 638 |
| 90 | 25408960S019 | elemento de aquecimento_230V/5000W Heizelement_230V/5000W | 24,000 | Peças Stück | E | | | | | | |
| 130 | 301032511632 | ventilador axial_ Axialventilator_ | 6,000 | Peças Stück | E | X | | | | Ketten-und Packungskühlung | |

Fonte: KHS, Lista de materiais sobressalentes Shrink Packer SP A-H (p. 637, 2022).

O sistema de controle observado na Figura 10 foi substituído pelos bancos de resistências, e nos bancos existem termostatos e termostatos para medição e controle de temperatura, bem como no túnel de retração existe termostatos para proteção e controle, além disso são instaladas e/ou substituídas as mangueiras de ar quente do túnel de retração garantindo

que o e assentamento está correto (nota-se na Figura 25 como deve estar disposto o sistema no local de instalação).

Figura 25 - Caixa de controle e resistências instaladas



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

Dependendo da temperatura, da pressão do ar e da frequência de movimentos, as mangueiras de ar quente precisam ser substituídas, é necessário verificar os defletores de ar quente (Figura 26), a corrente de ar para as mangueiras de ar quente pode ser ajustada. A posição dos defletores pode ser alterada com alavancas ou servomotores. A fim de poder garantir um funcionamento confiável dos defletores, eles devem ser regularmente verificados.

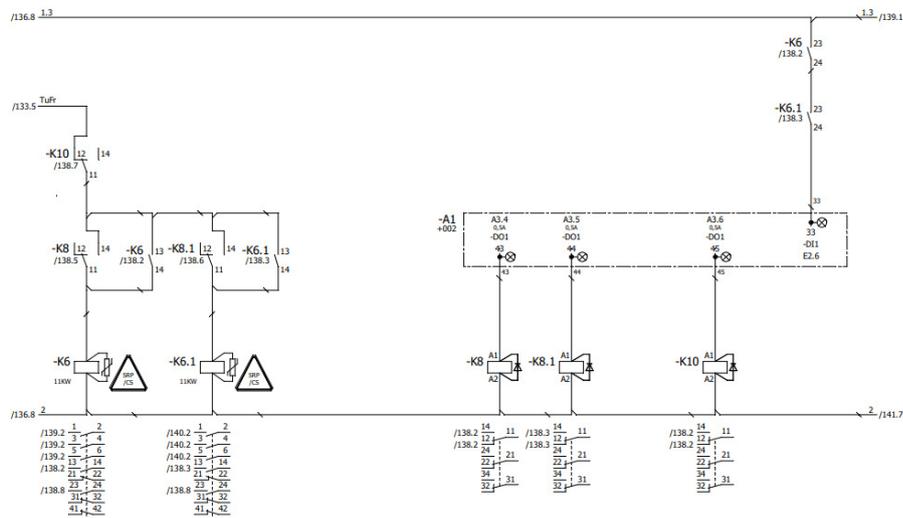
Figura 26 - Defletores e pontos de ajuste



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

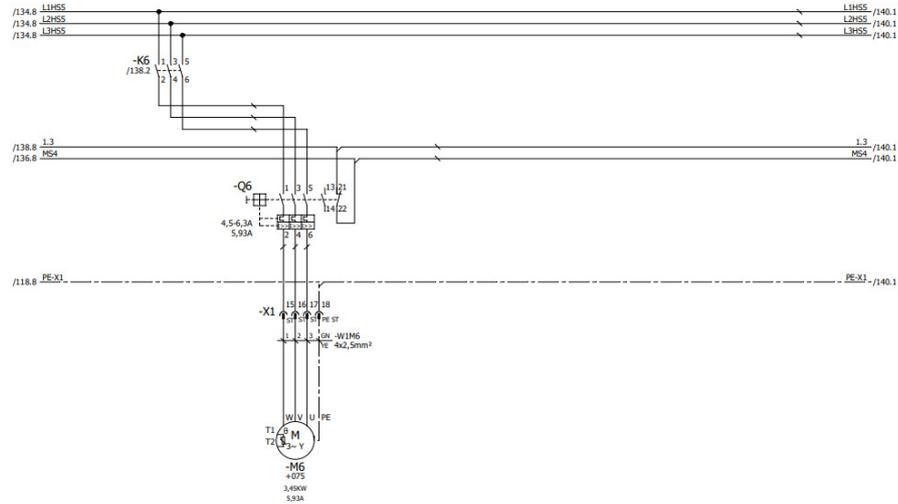
Os diagramas elétricos do funcionamento do M07 verifica-se as Figuras 27, 27 A, 27 B, 27 C, 27 D, 27 E, 27 F, 27 G, sendo: Figura 27 - Diagrama de comando de acionamento do túnel; Figura 27 A – Diagrama do ventilador de ar quente da Zona de aquecimento 1; Figura 27 B - Diagrama do ventilador de ar quente da Zona de aquecimento 2; Figura 27 C – Diagrama da zona de aquecimento 1 Túnel; Figura 27 D - Diagrama da Zona de aquecimento 2 Túnel; Figura 27 E - Diagrama 1 do comando de aquecimento túnel; Figura 27 F - Diagrama 2 do comando de aquecimento túnel; Figura 27 G - Diagrama 3 do comando de aquecimento túnel.

Figura 27 - Diagrama de comando de acionamento do túnel



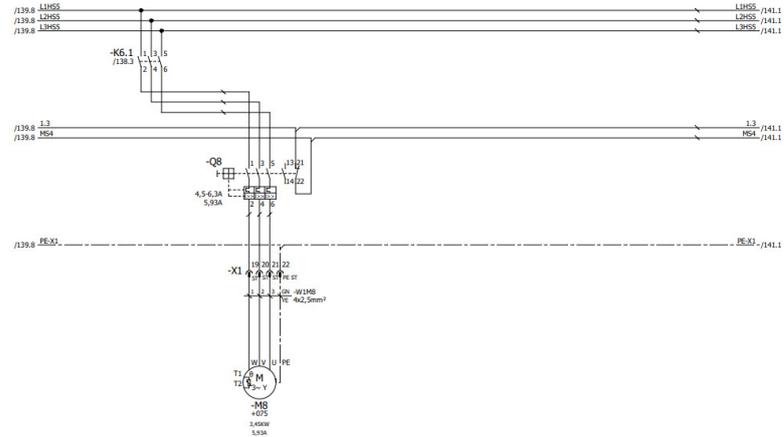
Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 194, 2022).

Figura 27 A - Diagrama do ventilador de ar quente da Zona de aquecimento 1



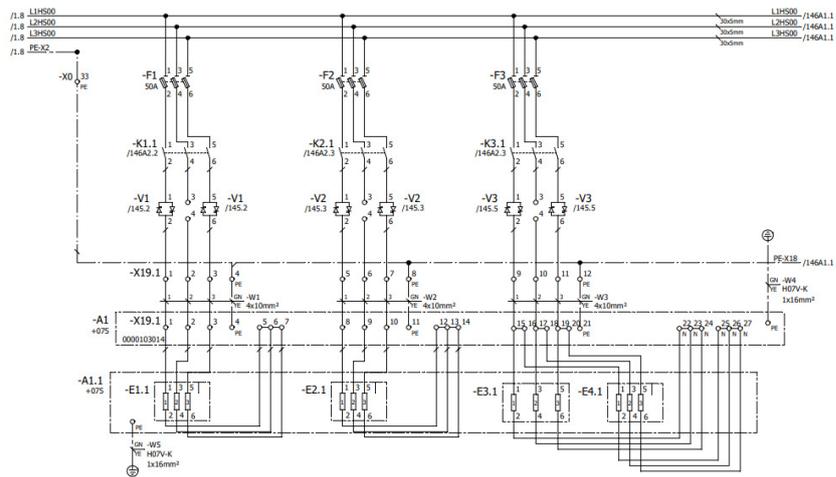
Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p.195, 2022).

Figura 27 B - Diagrama do ventilador de ar quente da Zona de aquecimento 2



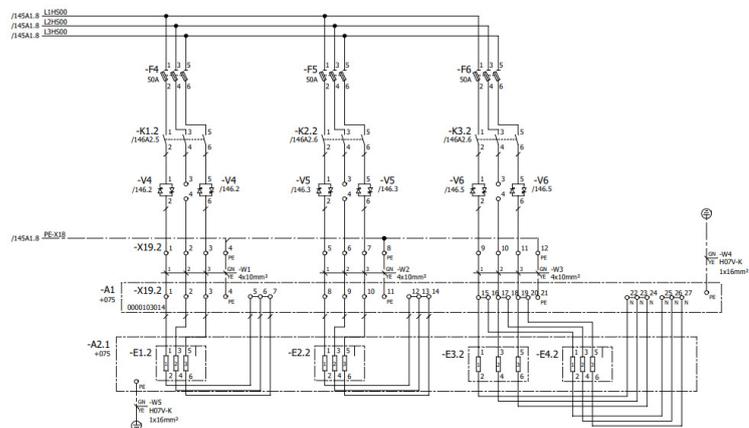
Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 196, 2022).

Figura 27 C - Diagrama da zona de aquecimento 1 Túnel



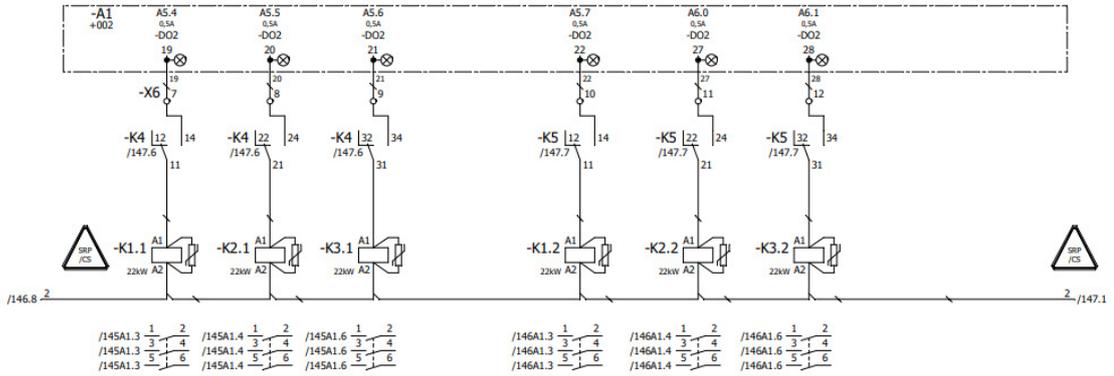
Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 203, 2022).

Figura 27 D - Diagrama da Zona de aquecimento 2 Túnel



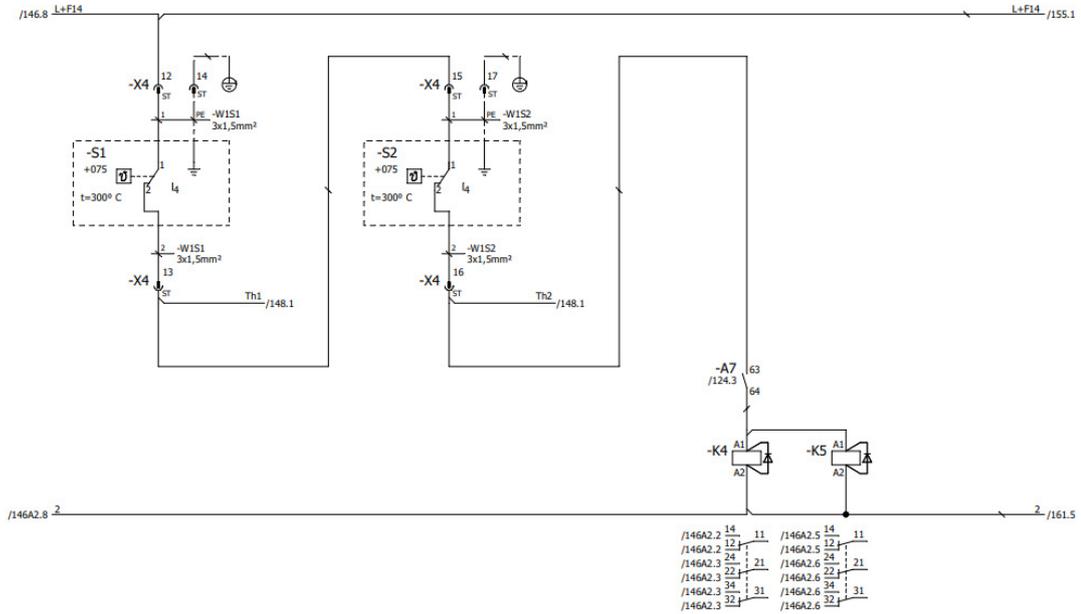
Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 205, 2022).

Figura 27 E - Diagrama 1 do comando de aquecimento túnel



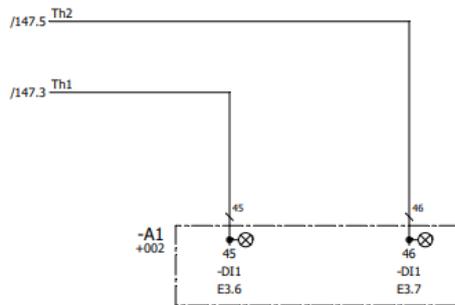
Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 206, 2022).

Figura 27 F - Diagrama 2 do comando de aquecimento túnel



Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 207, 2022).

Figura 27 G - Diagrama 3 do comando de aquecimento túnel



Fonte: KHS, Plano de conexão Innopack - Shrink Packer SP A-H (p. 208, 2022).

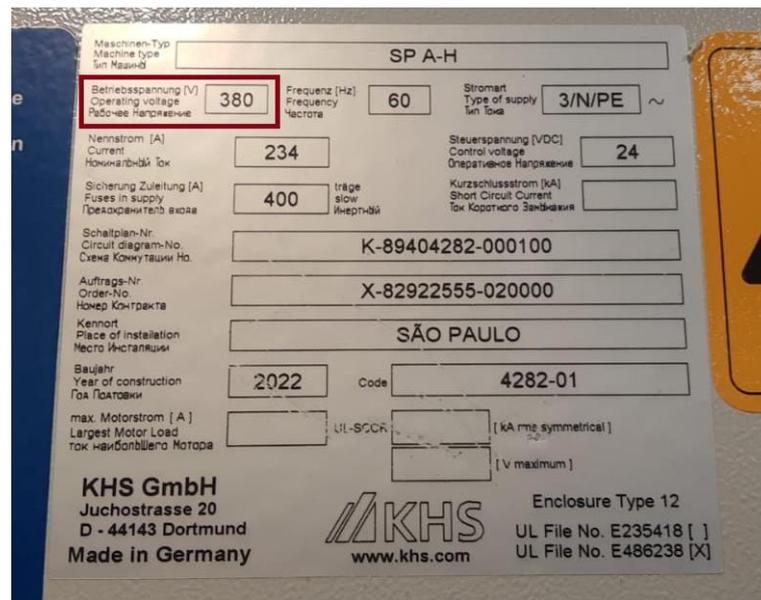
Pelos diagramas acima é possível verificar que a ligação das resistências se dá em estrela, ou seja, possui três terminais externos A, B, C e um terminal interno N. Nesse sistema a tensão de alimentação/tensão de linha é de 380V (como pode-se observar na Figura 33), logo, sabe-se que a tensão de fase dessa ligação em estrela é 219,39V, a tensão suportada por cada elemento de aquecimento é de 230V, conclui-se que os elementos atendem os requisitos, para corrente em ligação estrela, sabe-se que I_F (corrente de fase) = I_L (corrente de linha), ou seja, com cada elemento individualmente suporta aproximadamente 22A.

$$U_F \text{ (Tensão de fase)} = U_L \text{ (Tensão de linha)} / \sqrt{3} \quad [3]$$

$$U_F \text{ (Tensão de fase)} = 380 \text{ [V]} / \sqrt{3} \quad [3]$$

$$U_F \text{ (Tensão de fase)} = 219,39 \text{ [V]} \quad [3]$$

Figura 28 - Informações de alimentação



Fonte: KHS especificações (2022).

O circuito possui um painel dedicado para os dois aquecedores (Figura 29 e 30), onde é possível verificar o sistema de proteção do circuito. No painel encontra-se (diagramas nas Figuras 27 A,B,C,D,E,F,G) a entrada de alimentação do sistema, seis fusíveis um para cada conjunto de resistência (dois aquecedores, ao todo seis conjuntos de resistência) que protegem o circuito elétrico de um curto-circuito (sobrecorrente) e sobrecarga de longa duração.

Figura 29 - Painel de comando e proteção dos aquecedores elétricos



Fonte: KHS especificações (2022).

No painel estão instalados seis contadores que permitem o acionamento de cargas que exigem correntes maiores, como motores trifásicos e resistências industriais, por exemplo. Semelhantes aos relés, os contadores possuem uma bobina, um núcleo e um conjunto de contatos de força e de comando, como também possui seis relés de estado sólido, que fazem o controle de temperatura das resistências.

Figura 30 – Descrição painel de comando e proteção dos aquecedores elétricos

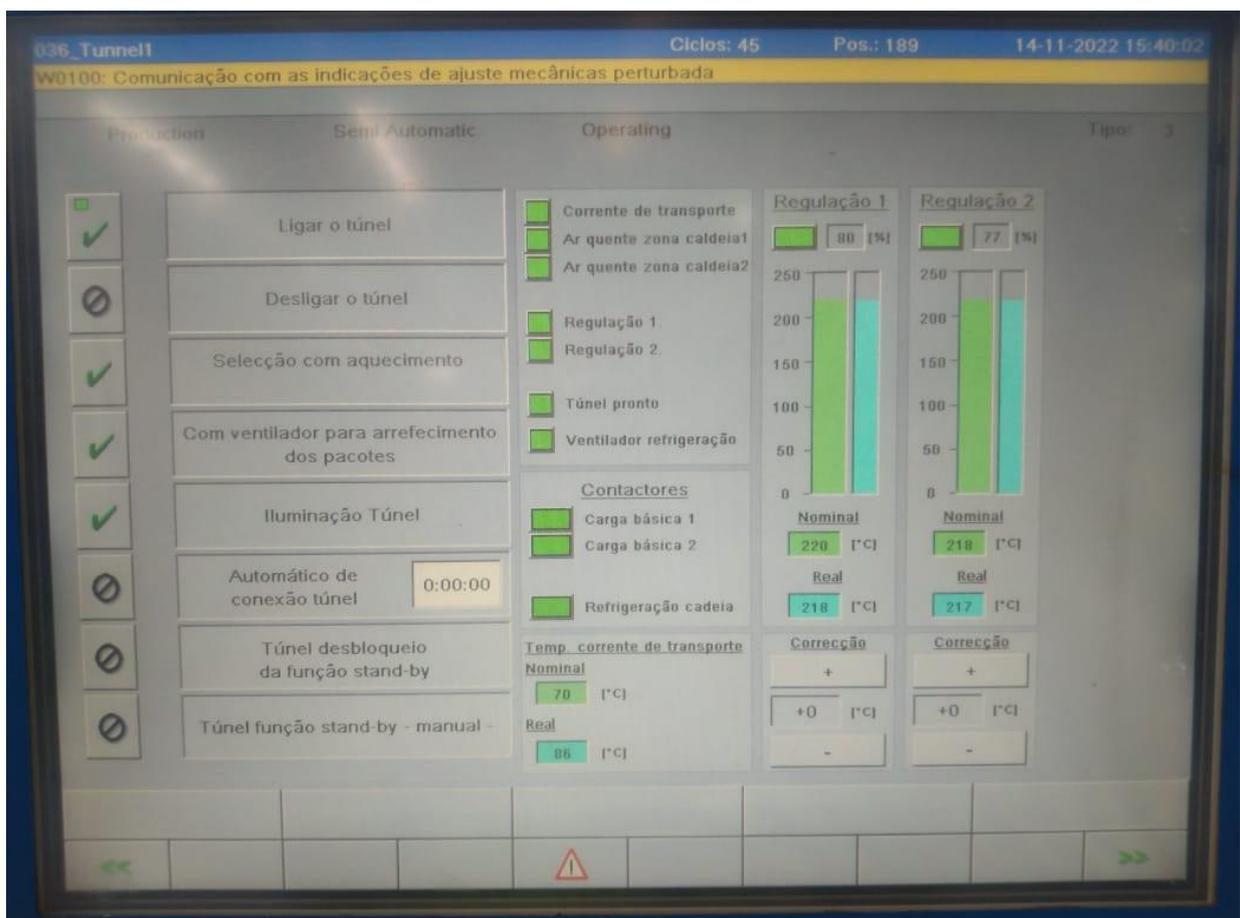


Fonte: KHS especificações (2022).

4.3. Operação e conversão para o sistema elétrico

Na estrutura da interface homem máquina (IHM), ou seja, o monitor de operação, tem botões que indicam “Ligar o Túnel” e “Desligar o Túnel”, é necessário ir ao menu iniciar e liberar as funções para seguir com as configurações manuais, após ajustar e liberar corretamente os outros módulos da máquina, é necessário pressionar o botão de ligar o túnel para poder ativar o túnel de retração. É possível observar o menu no IHM da máquina referente ao túnel de retração (Figura 31), nota-se a existência de alguns botões a esquerda da tela. Além disso é possível observar também o funcionamento passo a passo do túnel de retração na Figura 32.

Figura 31 - Menu do túnel de retração no IHM



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No quadro 17 nota-se as funções de cada botão presente no IHM da máquina referente ao modulo M07.

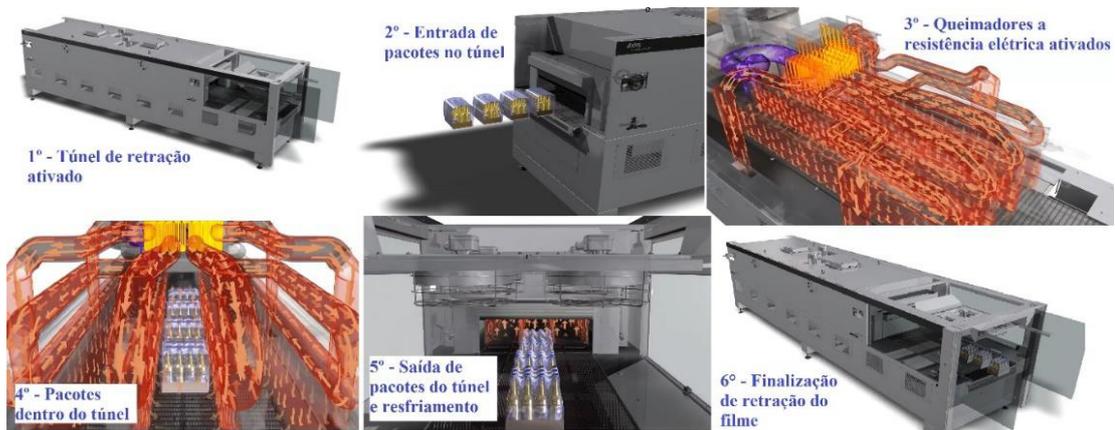
Quadro 17 - Botões de operação IHM túnel elétrico

| Nº | Descrição | Função |
|----|---|--|
| 1 | Ligar o túnel | Ligar o túnel de retração |
| 2 | Desligar túnel | Desligar o túnel de retração |
| 3 | Seleção com aquecimento | Ativar/desativar o aquecimento do túnel de retração |
| 4 | Com ventilador para arrefecimento dos pacotes | Selecionar o aquecimento e o ventilador de resfriamento |
| 5 | Automático de conexão do túnel | Ativar/desativar o acionamento temporizado do túnel de retração. Sistema de comando automático do túnel ativado: Túnel de retração inicia no tempo predefinido, a corrente de transporte inicia, ventilador de resfriamento da saída inicia e o túnel aquece. O profissional qualificado é o responsável por definir o tempo nos parâmetros do túnel |
| 6 | Limpeza automática da esteira de corrente | Por um tempo predefinido a limpeza da esteira de transporte do túnel de retração ocorre |
| 7 | Limpeza manual da esteira de corrente | O rolo das escovas inicia a limpeza do transporte, após 60 segundos o processo é concluído de forma automática |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para iniciar o processo seleciona-se ligar o túnel e o transporte ligará para a produção, caso seja utilizado automático de conexão do túnel o transporte ligará apenas no momento pré-definido no sistema, os ventiladores são ativados de forma automática, após clicando em seleção com aquecimento os sistemas de aquecimento são ativados, em seguida selecionar com ventilador para arrefecimento dos pacotes e os ventiladores de resfriamento são ativados e por último para deligar o sistema é necessário selecionar desligar o túnel.

Figura 32 - Passos de funcionamento do túnel de retração



Fonte: Youtube, KHS Group: KHS Innopack Kisters ST - shrink tunnel (2013).

Os técnicos eletricitas devem ligar a chave geral no quadro elétrico, posicionar o seletor “Potência Empacotadora Lig/Delig” em “LIG”, pressionar o botão pulsante até que acenda, os técnicos operadores devem ligar o túnel da forma informada no parágrafo anterior, ou seja o túnel e os ventiladores estão operantes, selecionar com aquecimento para ativar os aquecedores elétricos e aquecer o túnel, até o túnel chegar a temperatura desejada para o sistema uma mensagem de “Temperatura insuficiente das zonas de aquecimento do túnel” fica ativado, quando a temperatura chega ao valor necessário essa mensagem sai da tela.

Para ativar automaticamente o sistema, é necessário que os técnicos operadores no menu do túnel de aquecimento selecionem o botão automático de conexão do túnel, dessa forma na hora programada o sistema se ativará, mas para que isso ocorra normalmente o técnico eletricitista deve ter ativado a chave geral e o botão pulsante. É necessário verificar nas configurações de tipo para o produto a ser operado no momento. Para desligar a máquina verifica-se se a produção foi encerrada, desligar o túnel de retração no IHM, colocar a máquina em OFF no botão “Potência embalador liga/desliga” e por fim desligar a máquina com o interruptor principal no painel de distribuição.

4.3.1. Indicação e eliminação de erros

Em caso de mau funcionamento dos aquecedores, uma mensagem de erro dos sistemas é exibida no IHM da máquina. No quadro 18 é representado quais os tipos de erros possíveis, seus códigos, incluindo uma descrição das possíveis razões para esse erro e a sua eliminação. Atenção para as sinalizações “xx”, elas correspondem ao número da zona de aquecimento que houve a falha.

Quadro 18 - Possíveis erros e resoluções

| Código do erro | Descrição | Motivo | Resolução | Quem |
|-----------------------|---|--|--|-------------|
| F0658 F0659 | Falha do conversor de frequência do soprador de ar quente na zona de calor xx túnel | Não está sendo sinalizado no IHM a frase "Pronto para operação" da unidade de controle para o motor da esteira. Não tem tensão no circuito intermediário. A proteção de rede caiu. | Verificar o controle de proteção de rede e interruptores elétricos | Técnico |
| | | Interruptor de emergência está acionado. A preparação está desativada. | Destruar o botão de parada de emergência. Ajustar preparação com o botão "Geral ligado" | Técnico |
| | | Falha no fornecimento de energia | Verificar interruptores | Técnico |
| F0660 | Temperatura insuficiente nas zonas de aquecimento | Falha na alimentação de tensão | Ligar a alimentação de tensão e aguardar até alcançar a temperatura de serviço. Pressionar o botão "Eliminar erro". Aguardar até alcançar a temperatura de serviço | Técnico |
| F0660 | Temperatura insuficiente nas zonas de aquecimento | Os fusíveis dispararam | Procurar erros e ligar os fusíveis | Técnico |
| | | Os elementos de aquecimento estão com defeito | Trocar os elementos de aquecimento | Técnico |
| | | os termopares estão incorretamente ajustados | Ajustar de acordo com a especificação do filme | Técnico |
| | | O túnel de retração não está ligado | Ligar o túnel de retração | Técnico |
| F0661 | Túnel não está ligado | O túnel de retração não está ligado | Confirmar mensagem de erro. Ligar o túnel de retração, aguardar até alcançar a temperatura de serviço e iniciar a máquina | Operador |

| | | | | |
|----------------|---|---|---|----------|
| F0662 F0665 | Temperatura da zona de aquecimento xx muito alta | O sensor de temperatura mediu uma temperatura muito alta na zona de aquecimento | Para esse caso, verificar o Quadro 19 | Técnico |
| F0674 | Conversor de frequência de refrigeração de corrente perturbado do túnel | Falha de tensão elétrica no circuito intermediário. O contator de alimentação está desativado | Verificar a ativação do contador de alimentação e dos fusíveis | Técnico |
| | | Interruptor de emergência está acionado. A preparação está desativada. | Destruar o interruptor de emergência. Ligar a preparação com o botão "Geral Liga" | Técnico |
| | | A alimentação de corrente está com defeito | Verificar o fusível | Técnico |
| F0769 | Sensor de temperatura do túnel perturbado | As conexões elétricas dos sensores de temperatura estão com defeito | Eliminação do erro por eletricitistas | Técnico |
| F0913 F0914 | Persianas fora de posição - entrada/saída do túnel | As persianas no túnel de retração não estão na posição desejada | Pressionar o botão "Conduzir persianas a posição desejada", até que elas estejam na posição desejada | Operador |
| F0916 F0917 | | As persianas no túnel de retração não estão na posição nominal | Pressionar o botão "Conduzir persianas a posição nominal", até que elas estejam na posição desejada | Técnico |
| F1040 | Manivela encaixada no túnel | A manivela do túnel de retração está inserida | Retirar a manivela, confirmar a mensagem de erro e iniciar a máquina | Operador |
| F1046 | Túnel não está ligado | O túnel de retração não está ligado e o interruptor de serviço do acionamento do túnel de retração não está ligado. | Confirmar mensagem de erro. Ligar o túnel de retração no terminal de controle, aguardar até alcançar a temperatura de serviço e iniciar a máquina | Técnico |

| | | | | |
|-------|-----------------------------|--|--|----------|
| F1185 | Túnel em função de Stand-by | O túnel encontra-se em função de stand-by. As temperaturas do túnel são reduzidas durante uma interrupção da produção para poupar energia. Isso é realizado através de um sinal externo ou do botão "Túnel função stand-by - manual" | A máquina arranca automaticamente ao alcançar a temperatura de serviço | Operador |
|-------|-----------------------------|--|--|----------|

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No quadro 19 é apresentado descreve passo a passo do que ocorre quando a zona de aquecimento está muito elevada.

Quadro 19 - Temperatura de zona de aquecimento muito elevada

| Nº | ATIVIDADE |
|-----|--|
| 1º | O IHM exibe a mensagem de erro "Temperatura demasiado alto zona de aquecimento (F0662 e F0665) |
| 2º | O termopar de segurança no túnel de retração desliga o sistema de aquecimento |
| 3º | Deixar o túnel de retração esfriar |
| 4º | Verificar os pontos de aspiração do túnel de retração |
| 5º | Remover resíduos de filme do túnel de retração |
| 6º | Verificar o funcionamento correto dos motores do aquecedor do túnel de retração |
| 7º | Certificar-se de que o ar pode circular livremente |
| 8º | Prepara a nova ligação |
| 9º | Soltar os parafusos de fixação na cobertura de proteção do termopar de segurança |
| 10º | Retirar cobertura de proteção |
| 11º | Pressionar o botão "Reset" no termopar de segurança |
| 12º | Colocar a cobertura de proteção e apertar os parafusos de fixação |

Fonte: Elaborada pelo autor.

No quadro 20, são exibidas as mensagens de aviso geradas pelo sistema do M07, que alertam sobre possíveis irregularidades, falhas ou condições anormais relacionadas ao funcionamento do equipamento.

Quadro 20 - Mensagens de erro e aviso

| Código do erro | Descrição | Motivo | Resolução | Quem |
|----------------|--|--|--|----------|
| W0106 | Ajuste mecânico do túnel incorreto | Uma ou várias unidades de ajuste do túnel de retração não estão na posição correta | Ajustar novamente as unidades de ajuste e confirmar as posições | Técnico |
| | | O indicador de posição não está confirmado | | Técnico |
| W0353 | Falha no sistema lubrificador do túnel | Erro no sistema de lubrificação | Desligar a bomba de óleo, verificar os tubos do lubrificante, a conexão do lubrificante e o pressostato | Técnico |
| | | A mensagem de aviso não desaparece | Realizar a lubrificação manualmente, garantir o reparo | Técnico |
| W0354 | Lubrificante mínimo túnel | O recipiente de lubrificante está quase vazio | Preencher o tanque de lubrificante nas próximas oito horas de produção | Técnico |
| W0355 | Temperatura insuficiente das zonas de caldeia no túnel | Falha na alimentação de tensão | Ligar a alimentação de tensão, após a nova ligação aguardar até alcançar a temperatura de serviço | Operador |
| | | O fusível disparou | Identificar erros e ligar os fusíveis, após a nova ligação aguardar até alcançar a temperatura de serviço | Técnico |
| | | Os elementos de aquecimento estão com defeito | Trocar os elementos de aquecimento, após a nova ligação aguardar até alcançar a temperatura de serviço | Operador |
| | | Os termopares estão ajustados incorretamente | Verificar a repartição dos termopares e comparar os dados no esquema elétrico. Ter atenção a especificação do fabricante do filme retraído, após a nova ligação aguardar até alcançar a temperatura de serviço | Técnico |
| | | O aparelho não está ligado | Ligar o aparelho | Operador |
| W0356 | Válvula de ventilação reguladora de túnel perturbada | Erro no comando das válvulas de ventilação acionadas por motor | Informar a manutenção | Técnico |

| | | | | |
|-------|---|------------------------------------|---|---------|
| W0357 | Falha no sistema de lubrificante do túnel - acionamento | Erro no sistema de lubrificação | Desligar a bomba de óleo, verificar os tubos do lubrificante, a conexão do lubrificante e o pressostato | Técnico |
| | | A mensagem de aviso não desaparece | Realizar a lubrificação manualmente, garantir o reparo | Técnico |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando as mensagens de aviso W0353, W0354 e W057 forem exibidas no IHM a máquina não para e continua a produzir normalmente, no entanto quando a mensagem W0355 é exibida a máquina para, pois a temperatura de serviço do túnel de retração não foi alcançada. É necessário ter cuidado pois o túnel de retração trabalha a altas temperaturas de até 230 °C, o que pode causar queimaduras graves, ou seja, para qualquer intervenção que for feita no forno é necessário aguardar o tempo até que o túnel de retração esfrie.

4.4. Instalação, comissionamento e manutenção do sistema

Para realizar a instalação das resistências elétricas (Figura 36) é necessário um profissional especialista na máquina, para retirar todo o sistema a gás presente (Figuras 17 e 19) e instalar o banco de resistores no local, na própria chapa que sustenta os elementos de aquecimento tem instalado um termopar que verifica a temperatura da zona aquecimento, para que não gere temperatura de zona de aquecimento muito elevada e danifique os produtos e componentes, como também é necessário verificar a existência de outro termopar no túnel de retração para garantir que a proporção de ar ambiente e ar quente está gerando uma temperatura dentro da faixa desejada.

Figura 33 - Banco de resistência do aquecedor



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

Posteriormente é necessário verificar se as mangueiras de ar quente estão em condições adequadas, sem buracos, rachaduras e com assentamento correto (Figura 34), pois dependendo da temperatura, da pressão do ar e da frequência de movimentos, as mangueiras de ar quente precisam ser substituídas, para que assim não se perda calor para o ambiente, perdendo mais energia e até podendo danificar outros componentes da máquina, é possível verificar como funciona o fluxo de ar dentro das mangueiras na Figura 32.

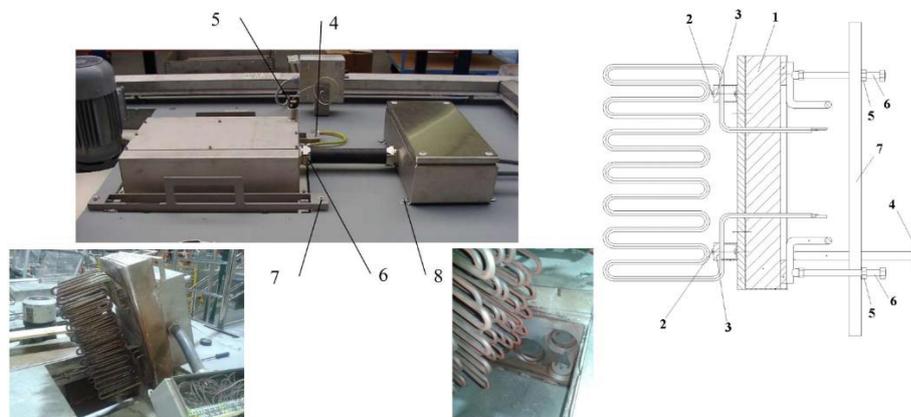
Figura 34 - Substituição das mangueiras de ar quente



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

Após é necessário realizar a substituição dos termos elementos como na Figura 35 e seguindo os passos estabelecidos no quadro 21.

Figura 35 – Localização dos termos elementos



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

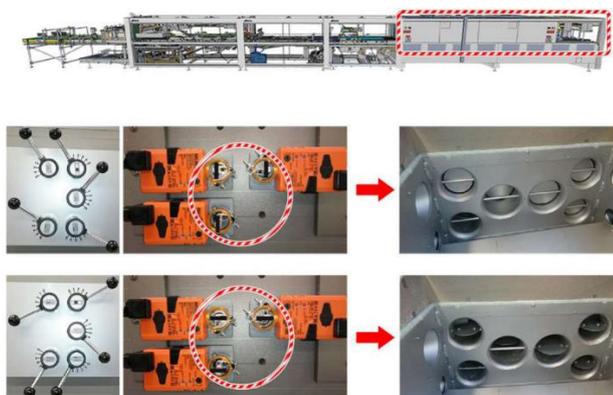
Quadro 21 - Passo a passo da substituição dos termo elétricos

| Nº | ATIVIDADE |
|-----|--|
| 1º | Desligar o interruptor principal e garantir que não haverá um religamento |
| 2º | Desapertar o parafuso de aperto (5) e retirar o “apalpador” de temperatura do receptor |
| 3º | Retirar a cobertura da caixa de terminais e registro de tiragem |
| 4º | Desapertar a manga protetora de união (6) no registro de tiragem |
| 5º | Retirar as coberturas do condutor de cabos |
| 6º | Retirar 4 parafusos de fixação (7) no registro de tiragem e (8) na caixa de terminais como o cabo de ligação a terra |
| 7º | Tirar o registro de tiragem junto com a caixa de terminais |
| 8º | Desligar os cabos de conexão dos termo elementos na caixa de terminais |
| 9º | Desaparafusar o parafuso (2) e retirar o carril de fixação |
| 10º | Extrair os termo elementos do registro |
| 11º | Puxar o novo termo elemento e fixá-lo Antes da montagem da gaveta, controlar a junta (2), para detectar eventuais estragos. |
| 12º | Eventualmente substituí-la e lubrificar os parafusos de lubrificação com massa consistente com grafite. |

Fonte: Elaborada pelo autor.

É necessário verificar também os defletores de ar quente (Figura 26), é nesses pontos onde é ajustado a corrente de quente para as mangueiras, as posições dos defletores podem ser reguladas por meio de alavancas ou servomotores, esses pontos devem ser verificados regulamente para garantir um funcionamento confiável dos defletores de ar quente em função desses elementos, outrossim, é importante verificar as posições dos bocais de ar quente, como na Figura 36.

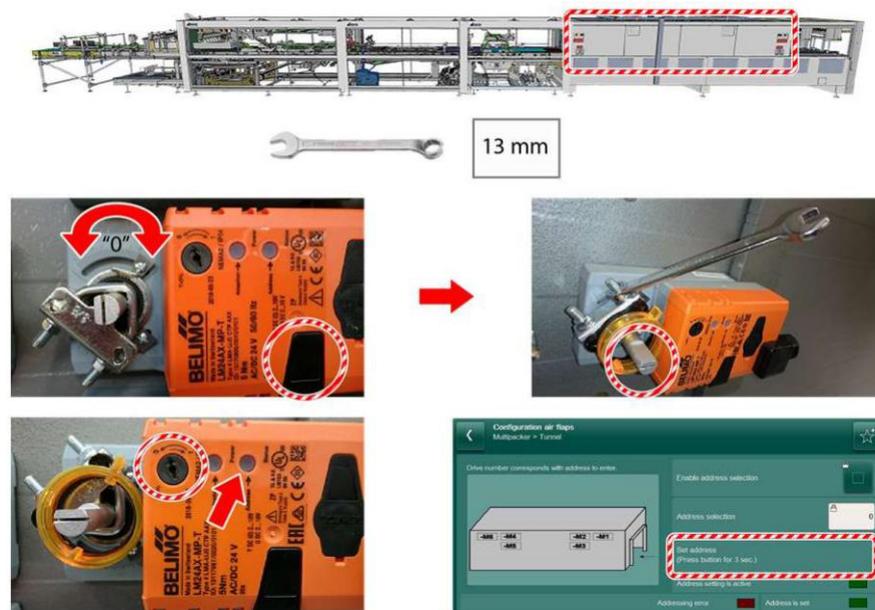
Figura 36 - Verificação dos bocais de ar quente



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

A seguir faz-se necessário substituir os servomotores dos defletores de ar quente (Figura 36), os servomotores dos defletores de ar quente têm uma área de operação de 90 graus. A posição é armazenada nos formatos. Para que os defletores de ar quente sejam movimentados na posição correta em função do formato, os servomotores devem ser endereçados em caso de substituição.

Figura 37 - Substituição do servomotor



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

Realizar o comissionamento é importante pois com ele é possível visualizar e determinar se o sistema instalado está de acordo com o proposto, além de estar protegido, instalado corretamente e pronto para utilização. O comissionamento é realizado pelo técnico especializado no equipamento, após isso no caso da indústria a qual o equipamento está empregado, é necessário que sejam treinados todos os demais técnicos que ficarão responsáveis pelo equipamento. O comissionamento do equipamento em questão deve seguir os checklists estabelecido nos quadros 22 e 23. É importante que no comissionamento os técnicos especialistas do fabricante garantam.

Quadro 22 - Comissionamento pré-operação

| Nº | Análise |
|----|--|
| 1º | A potência dos elementos de aquecimento esteja de acordo com o especificado pelo sistema |

- 2º Toda a instalação elétrica está de acordo com a necessidade de operação e as especificações do projeto e testada
- 3º Toda a parte mecânica está de acordo com a necessidade de operação e as especificações do projeto e testada
- 4º Toda a automação está de acordo com a necessidade de operação e as especificações do projeto e testada
- 5º Inspeção visual da instalação quanto a danos térmicos, mecânicos e contaminação.
- 6º Inspeção visual e, se necessário, troca do filtro de ar dentro do compartimento de aquecimento

Fonte: Elaborada pelo autor.

No quadro 23 é possível observar os pontos que devem ser observados quando for realizado o comissionamento durante a operação.

Quadro 23 - Comissionamento durante operação

| Nº | Análise |
|-----------|---|
| 1º | Verificação do funcionamento do arranque do aquecedor |
| 2º | Verificação da conexão da vedação entre a câmara de mistura e o flange do aquecedor |
| 3º | Verificação dos termopares/termostatos, se necessário substituir conforme manual |
| 4º | Verificação da relação ar ambiente/ar quente, se necessário correção |
| 5º | Verificar se as informações de erro e mensagens de aviso estão funcionais |
| 6º | Verificação da corrente de ar nas mangueiras de ar quente |

Fonte: Elaborada pelo autor.

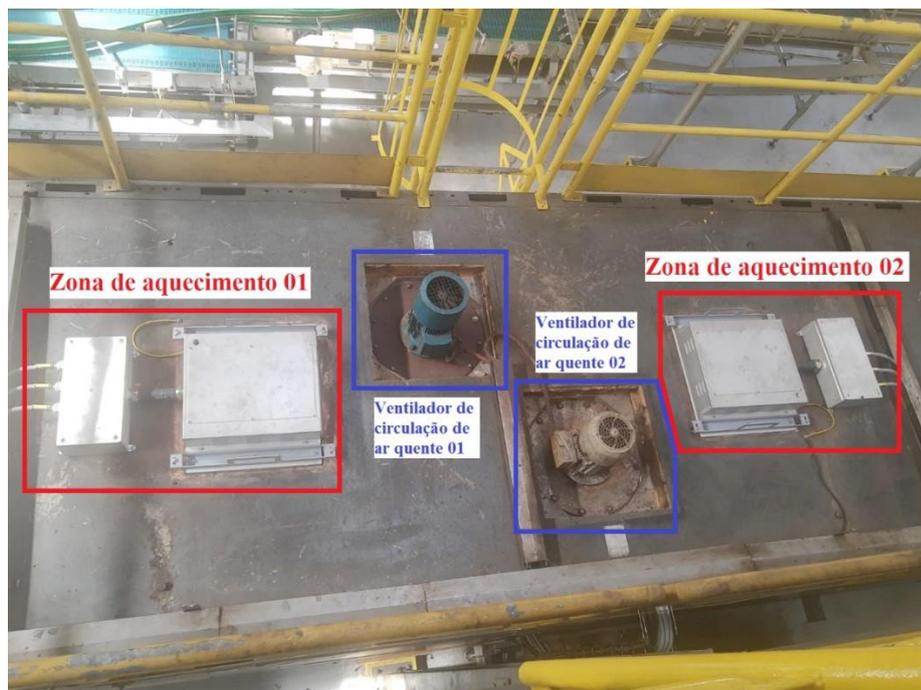
A inspeção e manutenção devem ser realizadas por um técnico especialista, os intervalos dessas atividades devem ocorrer de forma regular realizadas uma vez por ano, mas esse tempo pode ser menor dependendo das condições do local ou do equipamento, inclusive para que haja economia de energia, de custos e recursos, dessa forma aumentando também os ciclos de vida dos componentes do forno. Deve-se utilizar como apoio para as atividades os checklists de comissionamento listados nos quadros 22 e 23. Antes de realizar qualquer trabalho é necessário que o sistema esteja parado e a alimentação do aquecedor deve ser desconectada. A inspeção deve ser registrada pelo técnico especializado no protocolo de comissionamento e manutenção.

5. COMPARAÇÃO FORNO A GÁS E FORNO À RESISTÊNCIA ELÉTRICA

5.1. Mecânica e elétrica

As diferenças entre os dois sistemas começam no seu princípio de funcionamento, enquanto o forno a gás utiliza-se da queima de gás natural realizada pelo sistema formado por eletrodos de ionização e de ignição, onde o eletrodo de ignição gera uma faísca elétrica para dar início a combustão e o de ionização funcionando como uma chave que abre e fecha a válvula de gás caso haja a presença de chama, e, o elétrico utiliza conjuntos de resistências que recebem energia elétrica e transformam em calor.

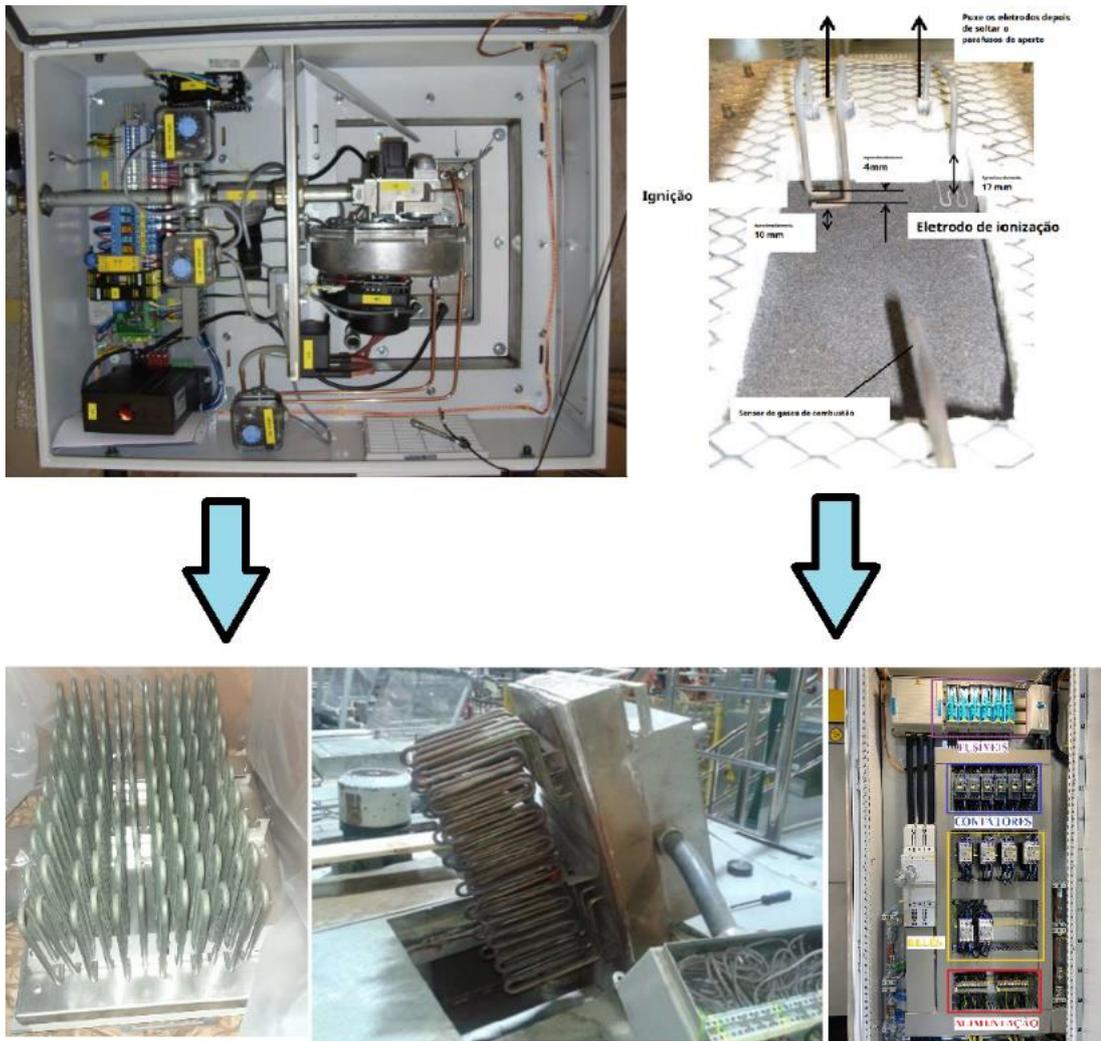
Figura 38 - Local de instalação dos equipamentos



Fonte: KHS, Treinamento para a equipe de manutenção Innopack - Shrink Packer SP A-H (2022).

Os dois sistemas de forno descritos nos capítulos 3 e 4 foram instalados na mesma máquina, na empacotadora de latas do tipo Shrink Packer – Innopack Kisters SP A-H 89404282 da fabricante KHS, e as duas estão presentes no mesmo módulo M07. As suas caixas de controle são fixas no mesmo local de instalação (Figura 38), a mudança mecânica de maior relevância foi na retirada do sistema a gás e a instalação dos bancos de resistências, como é possível identificar na Figura 39, além das zonas de aquecimento o túnel de retração que também faz parte do forno não teve alterações.

Figura 39 - Diferenças dos sistemas a gás e elétrico



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O sistema a gás possui no interior de uma caixa de controle os sensores de pressão, transformador de ignição, válvulas de gás, PLC de segurança, componentes elétricos de disparo automático, placa de rede e relé conectado ao PLC externo, duas válvulas de classe A, uma dentro da caixa de controle e outra fora. O limitador de temperatura de segurança é posto dentro da caixa na placa de flange do queimador, e o próprio STL é instalado externamente, além disso tem-se o sensor de pressão conectado diretamente ao PLC externo através da caixa de terminais.

Já o sistema elétrico possui três conjuntos de resistência em cada aquecedor, e quatro elementos de aquecimento em cada conjunto de resistência, ou seja, cada aquecedor tem 12 elementos de aquecimento, além de ter um painel elétrico externo dedicado para as zonas de aquecimento, nesse painel tem seis fusíveis, seis contadores e seis relés de segurança (três fusíveis, contadores e relés direcionados a zona 1 e os outros três direcionados a zona 2, um para cada conjunto de resistência).

5.1.1. *Vantagens e desvantagens do queimador a gás*

Dependendo da condição do gás e dos componentes utilizados no sistema, o queimador a combustão aquece rapidamente, por ele ter um sistema de ionização e válvula de gás que controla a entrada de gás é possível regular a quantidade de gás liberado, quanto maior a proporção ar/gás liberada maior será o calor gerado, como também quanto menor a proporção ar/gás for liberada menor será o calor gerado, portanto, reforça a possibilidade de regulação de geração de calor.

Fora isso, o sistema a gás apresenta um projeto de proteção bem desenvolvido que dificulta a possibilidade de acidentes, ele possui um sistema de disparo automático que controla a faísca gerada pelo eletrodo de ignição com base na sua corrente e isso ajuda a evitar maiores perdas de energia térmica e gás, posto isso, um sistema de purga funcional também garante a qualidade da combustão. Outrossim, o módulo de retração com o queimador a gás natural necessita de menos energia elétrica do que o aquecedor à resistência elétrica.

As desvantagens do a gás é que de acordo com a tese do Engenheiro Eletrônico Benjamín Calderón Padrós (2014) gases são complicados de controlar, por mais que tenha todo sistema de segurança aplicado, qualquer parâmetro inserido incorretamente, bem como a falha de algum componente pode causar maiores prejuízos e/ou acidentes, como por exemplo uma falha no pressostato diferencial de pressão (APS) ou no sistema de purga pode causar desde mau funcionamento do sistema não conseguindo chegar até a temperatura necessária até uma explosão.

O sistema a gás traz mais riscos e por isso seu sistema de proteção é mais complexo, enquanto o elétrico é formado basicamente pelas resistências, relés, fusíveis, contadores para proteção e para envio de informação para o PLC externo. O forno a gás tem medidores de pressão, eletrodo de ionização, eletrodo de ignição, transformador, válvulas de gás, PLC de segurança interno, placa de rede, limitador de temperatura e o STL que também estão conectados ao PLC externo, e a sua lógica de automação também requer mais condições para possíveis erros, fazendo com que para a tecnologia a gás seja mais difícil de encontrar alguém capacitado para resolver seus eventuais problemas e entender sua programação.

5.1.2. *Vantagens e desvantagens do aquecedor à resistência elétrica*

As vantagens do aquecedor à resistência elétrica, como citato no ponto 5.1.1., se comparado ao forno a gás, necessita de menos componentes para sua funcionalidade, comparando seus diagramas nos capítulos 3 e 4 é possível afirmar que a sua lógica de funcionamento é mais simples, outro fator que comprova a maior simplificação da sua lógica é o fato de não precisar de gás, dessa forma o nível de risco é menor.

Como por exemplo, no elétrico não se faz necessário purgar gases, também não necessita de controle de chama, nem de corrente de ionização, nisso pode-se incluir que por não necessitar dos tempos (Quadro 6), ele também é um sistema mais rápido. O elétrico aquece rapidamente, seus componentes são mais simples de serem trocados, em especial à resistência e é de fácil regulação além de ser preciso.

As desvantagens do aquecedor elétrico é que ele necessita de uma potência maior para entregar o mesmo rendimento que o forno a gás, bem como de mais corrente elétrica para funcionar, além disso ele está propenso em ter maiores falhas com quedas de energia elétrica vindas da distribuidora de energia, outrossim os seus elementos de aquecimento (resistências) são mais fáceis de ter curto-circuito.

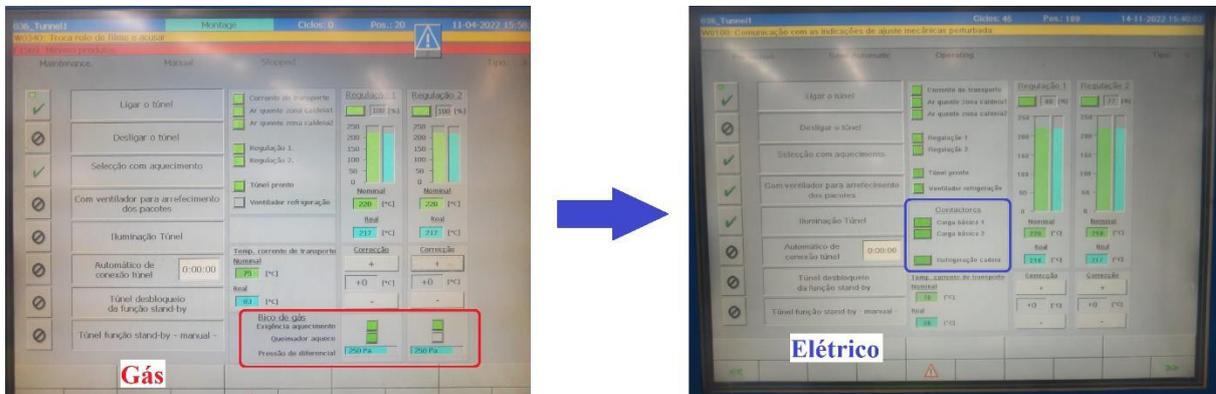
5.2. Operação e manutenção

A operação dos dois sistemas de aquecimento não tem muitas diferenças, mas entre elas pode-se observar na Figura 39 o IHM da máquina (interface homem-máquina local onde o operador opera o equipamento). Na tecnologia do a gás e o elétrico nota-se alguns pontos distintos, no a gás é visto uma parte do visor destacado em vermelho que é referente ao Bico de gás, nele observa-se “exigência aquecimento” onde a operação observa se as zonas de aquecimento chegaram à temperatura setada para que o módulo funcione, “queimador aquece” indica se o queimador está em estado de aquecimento e em “pressão diferencial” é possível verificar qual a pressão diferencial gás/ar no interior das zonas.

Já no elétrico não possui a parte descrita acima, mas tem a parte de Contactores, destacado em azul que exhibe a condição da “carga básica 1” e “carga básica 2” que por sua vez indicam que uma parte dos elementos de aquecimento no túnel de retração aquece quando o aquecimento está ligado, independentemente da regulação da temperatura como carga base. A carga base é ligada ou desligada automaticamente, assim que a diferença entre a temperatura

nominal e real atinge um valor pré-definido. E a “refrigeração em cadeia” indica se todos os contadores dos dois bancos estão comutados.

Figura 40 - Diferenças menu de aquecimento IHM



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Posto isso, comparando os quadros 11 e 22, que detalham os processos de comissionamento pré-operação dos fornos, é perceptível que os padrões diferem-se, enquanto o a gás necessita de que seja realizado uma checagem no tipo de gás fornecido, na funcionalidade dos pressostatos de gás e de ar (verificando sua leitura e seus setpoints de máximo e mínimo) dentro da caixa de controle, assim como na pressão da linha de gás, nos eletrodos, no componente cerâmico do queimador, nas conexões e no interruptor do alarme do gás, no elétrico é necessário visualizar a potência de cada resistência e se ela atende ao necessário para o sistema, verificando também a fonte de alimentação e a funcionalidade dos componentes do painel elétrico, nesse caso é necessário que seja realizado por um técnico eletricista.

Além disso é importante comparar os quadros 11 e 22, que por sua vez detalham os processos de comissionamento durante operação, onde no forno a gás verifica-se arranque do sistema, conexão entre câmara de mistura e flange e do fluxo de gás em força e velocidade máximas e a corrente de ionização, no elétrico também é verificado o arranque do aquecedor, a vedação e o flange, os termopares e termostatos, a relação de ar ambiente com ar quente e a corrente de ar nas mangueiras de ar quente, as verificações listadas nos quadros também estão exemplificadas nos capítulos 3 e 4.

5.2.1. Vantagens e desvantagens dos aquecedores a gás e elétrico

O forno a gás e o elétrico em relação a operação são semelhantes, o operador necessita acompanhar as temperaturas durante a operação nos dois casos e se a velocidade do módulo está de acordo com o sistema, no caso a desvantagem do a gás é que o colaborador também precisa estar atento a pressão interna de gás/ar e a possíveis vazamentos que muitas vezes, dependendo do tempo e do tamanho do vazamento é perceptível ao olfato, nesses casos o nível de gás no ar já se torna um perigo ao colaborador.

Nesse caso uma desvantagem do elétrico seria que o operador necessita ter atenção ao alarme do conjunto de resistências para identificar se algum conjunto sofreu curto e está inativo causando perda de potência ao sistema. Analisando as duas situações, o elétrico possui maior vantagem visto que o nível de risco é menor, no entanto a vantagem do a gás nesse mesmo ponto é que ele não necessita de uma tensão menor que a do elétrico para seu funcionamento, gerando menor risco aos equipamentos e reduzindo o dano que pode ser causado ao colaborador por choque elétrico, mesmo que ainda possa ocorrer o nível é menor.

Em relação a manutenção os dois sistemas se distinguem em maior nível, visto que o técnico necessita de habilidades específicas, no forno a gás é necessário um conhecimento básico em relação a gases e como eles funcionam para poder verificar a vazão os parâmetros e realizar manutenções no sistema de ionização, ignição e linha de gás, além disso assim como no elétrico o técnico precisa ter conhecimento na área elétrica, pois também possui componentes elétricos. Ou seja, nesse caso tem-se vantagem para o modelo elétrico, já que o técnico no caso necessitaria apenas de amplo conhecimento em sistemas elétricos.

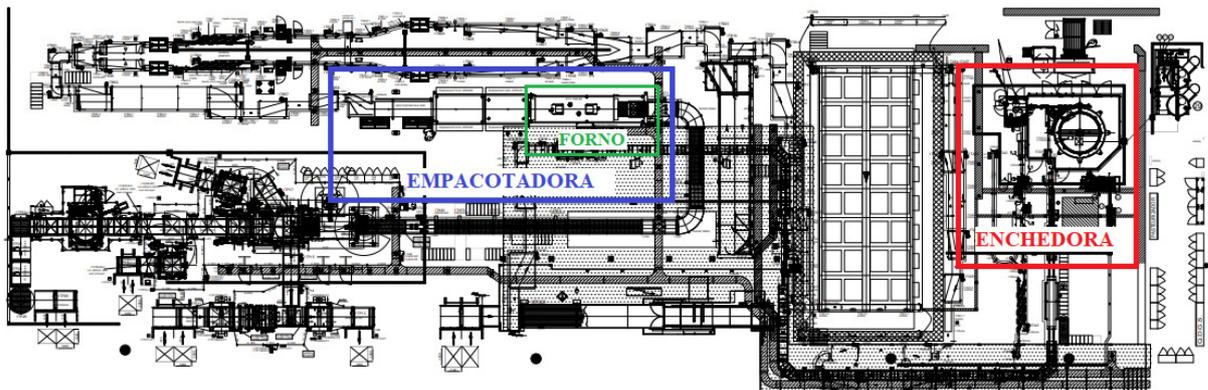
5.3. Eficiência em linha produtiva, danos ambientais e custos

5.3.1. Eficiência em linha produtiva

A linha produtiva, no caso de uma linha de latas de uma cervejaria, tem a sua velocidade comandada pelo equipamento intitulado como Enchedora de latas (máquina responsável por realizar o enchimento das latas), no caso da linha analisada em questão a velocidade máxima da enchedora é de 90.000 latas por hora, observa-se o mapa da linha utilizada para estudo na Figura 41. Ou seja, caso a enchedora esteja em sua velocidade máxima,

a empacotadora deve estar funcionando a no mínimo 90.000 latas/hora. A velocidade da empacotadora é definida em Ciclos de números inteiros, logo, para identificar o ciclo correspondente a 90.000 lata/hora é necessário seguir a equação.

Figura 41 – Projeto da linha de produção



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

$$Velocidade = Ciclos \times Latas \times Hora \text{ em minutos}$$

Velocidade: 90.000 latas/hora;

Ciclos: Velocidade empacotadora;

Latas: Quantidade de latas que entram no equipamento ao mesmo tempo;

1 hora: 60 minutos.

Substituindo na equação:

$$90.000 = Ciclos \times 24 \times 60 \quad (3)$$

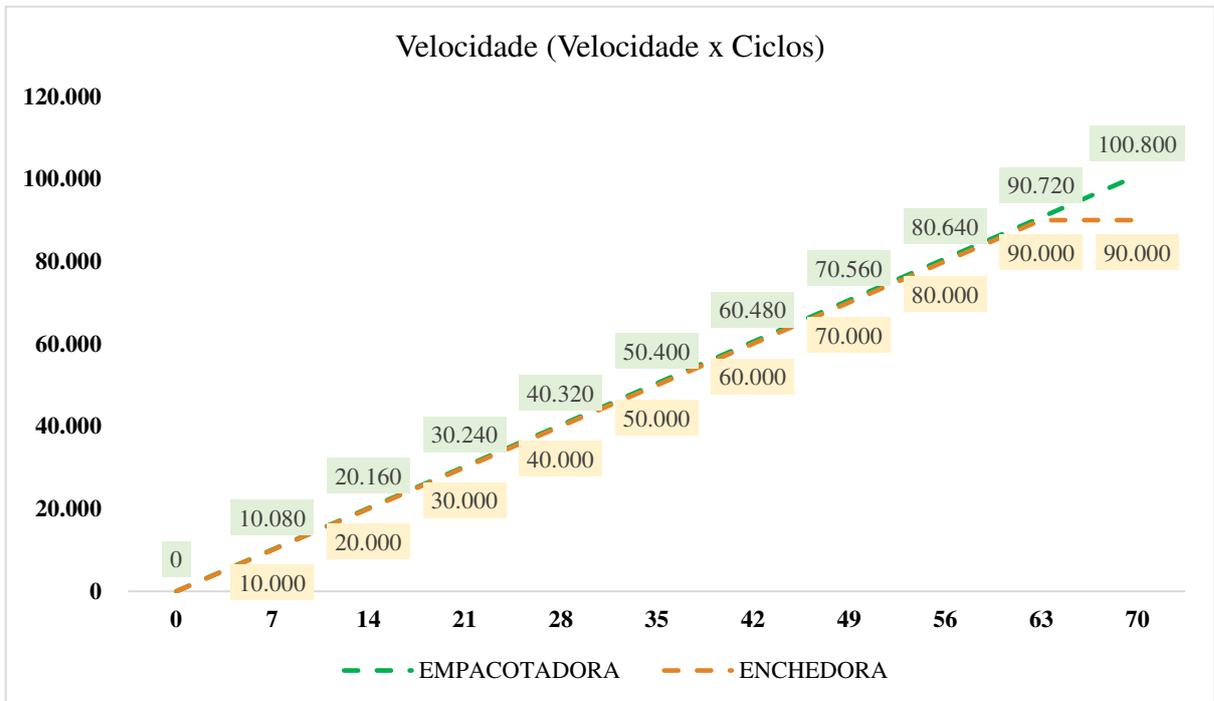
Isolando Ciclos na equação:

$$Ciclos = \frac{90.000}{24 \times 60} = 62,5 [ciclos] \quad (3)$$

Como os ciclos são definidos por números inteiros o ciclo mínimo que a empacotadora deve rodar quando a enchedora está na sua velocidade nominal é a 63 Ciclos. No entanto a empacotadora pode ir até a 70 ciclos, que utilizando a equação infere-se que ela pode chegar a 100.800 latas/hora, o que ajuda na vazão dos produtos que ficam nos pulmões formados pelos transportadores (Figura 40). Compreende-se com base nos dados dispostos no

Gráfico 1 as diferenças de velocidade entre enchedora e empacotadora, sendo que para atender a demanda da enchedora ela deve ficar com a velocidade no mínimo a 0,8% a mais.

Gráfico 1 - Relação velocidade enchedora x empacotadora

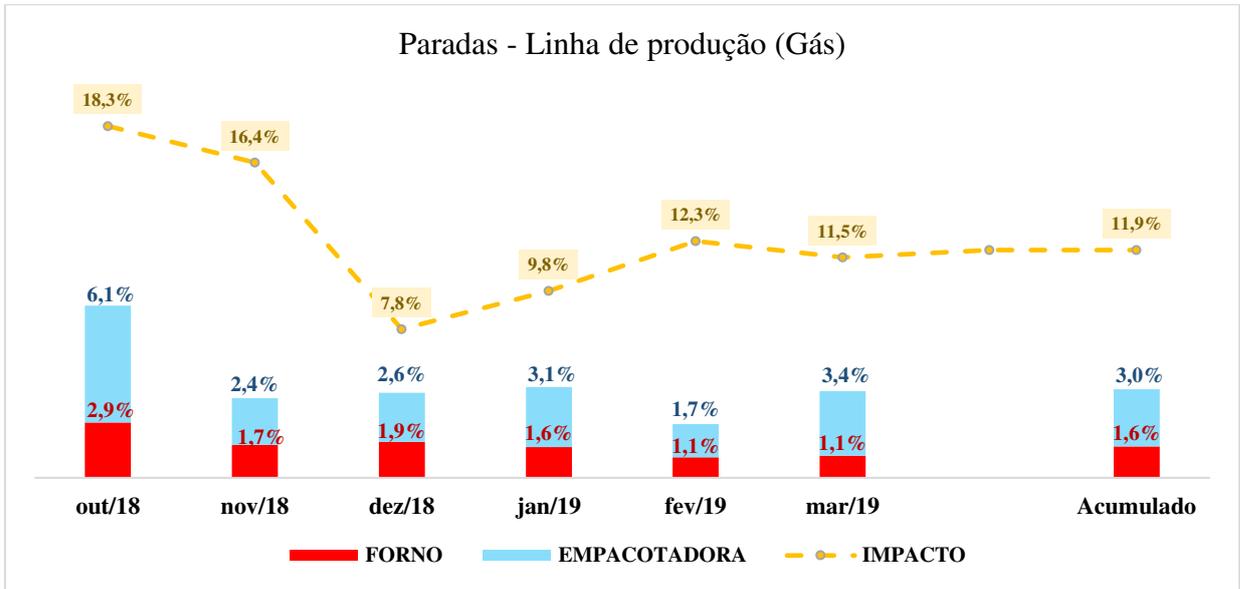


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

É importante realizar a comparação em relação a perda de eficiência que a empacotadora causou no período da instalação do forno a gás em relação ao período da instalação do forno elétrico, para isso foi coletado o período de 6 meses, desde outubro de 2018 até março de 2019 (período 01) referente ao forno a gás, e posteriormente os períodos de setembro de 2022 até fevereiro de 2023 (período 02) em relação ao forno elétrico. Nos gráficos 2 e 3 visualiza-se que a empacotadora e o forno no primeiro período.

Diante disto, o gráfico 02 apresenta em amarelo a porcentagem geral que a linha teve de impacto relacionado a parada de linha, seja ela por quebra ou por intervenções menores, em azul está a porcentagem que a empacotadora causou dentro do geral e em vermelho o impacto do forno em relação ao todo. Logo é possível inferir que o forno a gás no início de sua vida útil retirava 1,6% de eficiência da linha de produção.

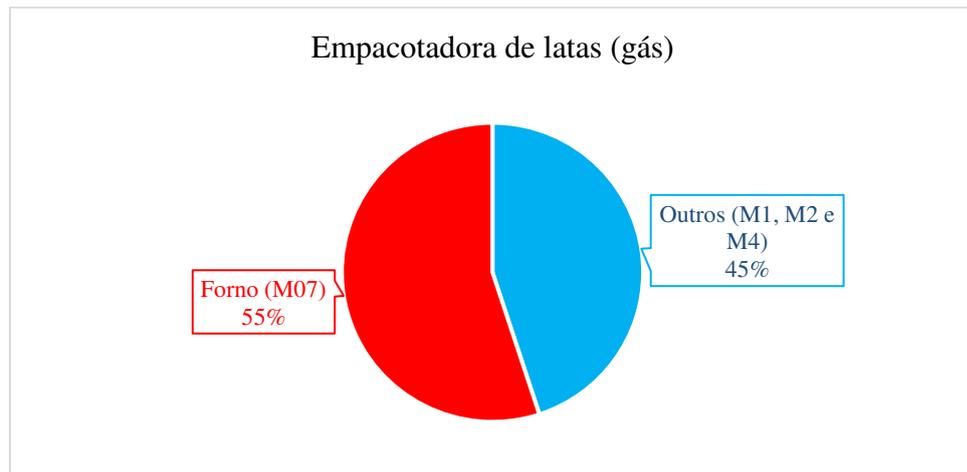
Gráfico 2 - Paradas da linha referentes ao forno a gás



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O gráfico 3 apresenta quanto o forno no período 01 impactava a empacotadora de latas, verifica-se que 55% das paradas do equipamento eram consequência do forno.

Gráfico 3 - Impactos forno a gás na empacotadora

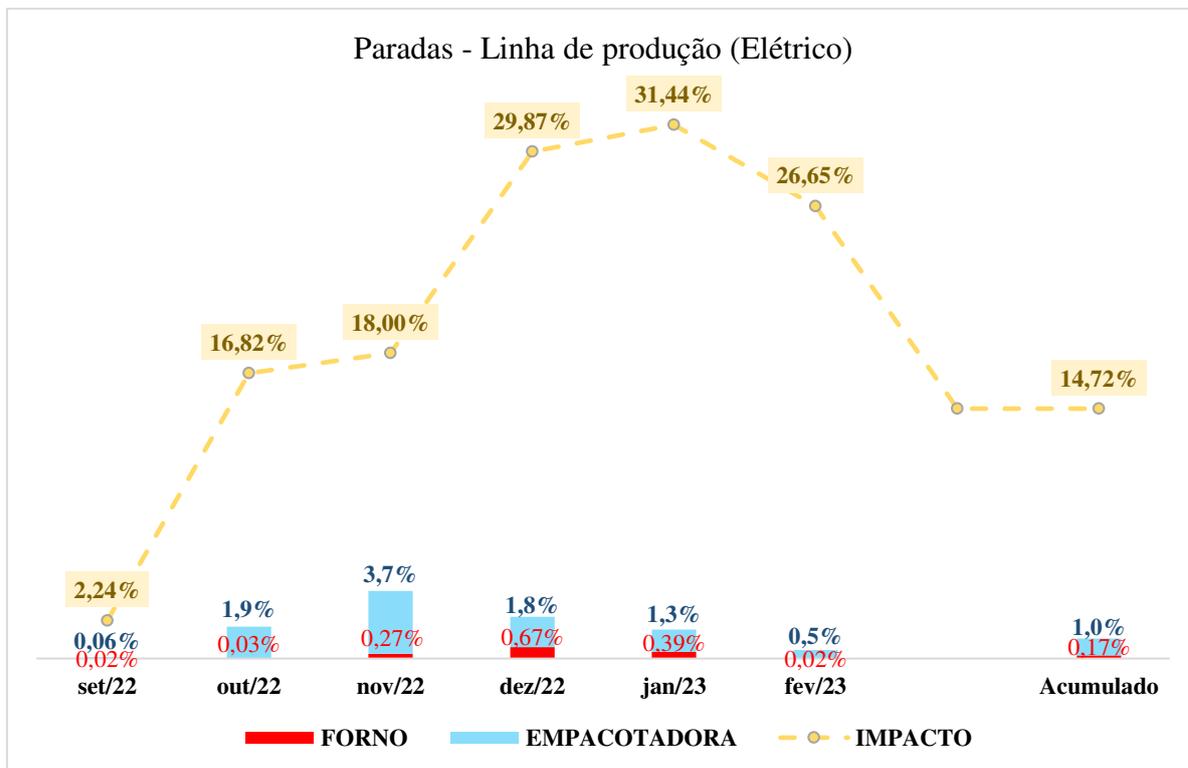


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Outrossim, no gráfico 4 é apresentado o período 02 (setembro de 2022 a fevereiro de 2023) onde é possível visualizar a eficiência do forno elétrico nos seus primeiros 6 mês pós instalação, onde em amarelo está descrito a porcentagem geral que a linha teve de impacto relacionado a parada de linha, seja ela por quebra ou por intervenções menores, em azul está a porcentagem que a empacotadora causou dentro do geral e em vermelho o impacto do forno em

relação ao todo. Logo é possível inferir que o forno elétrico no início de sua vida útil retirava 0,17% de eficiência da linha de produção.

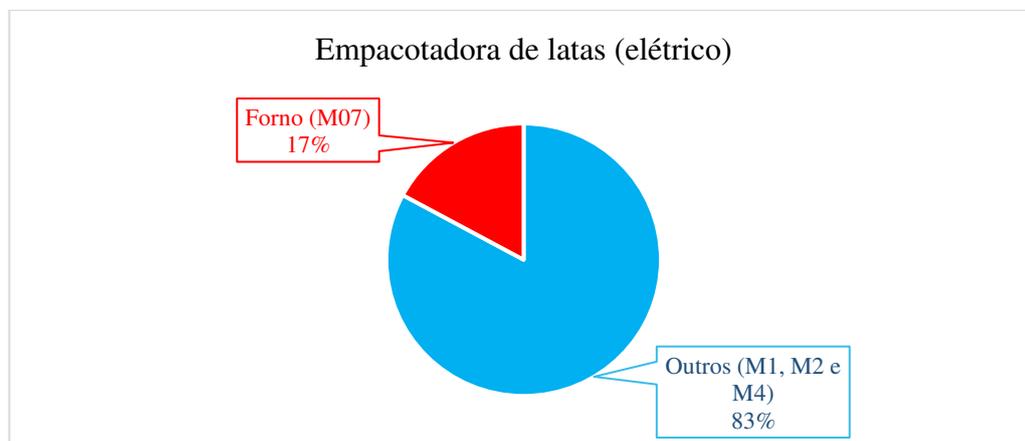
Gráfico 4 - Paradas da linha referentes ao forno elétrico



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Além disso, o gráfico 5 apresenta o total de paradas da empacotadora, nela pode-se inferir o quanto no período 02 a empacotadora sofria impacto do forno elétrico.

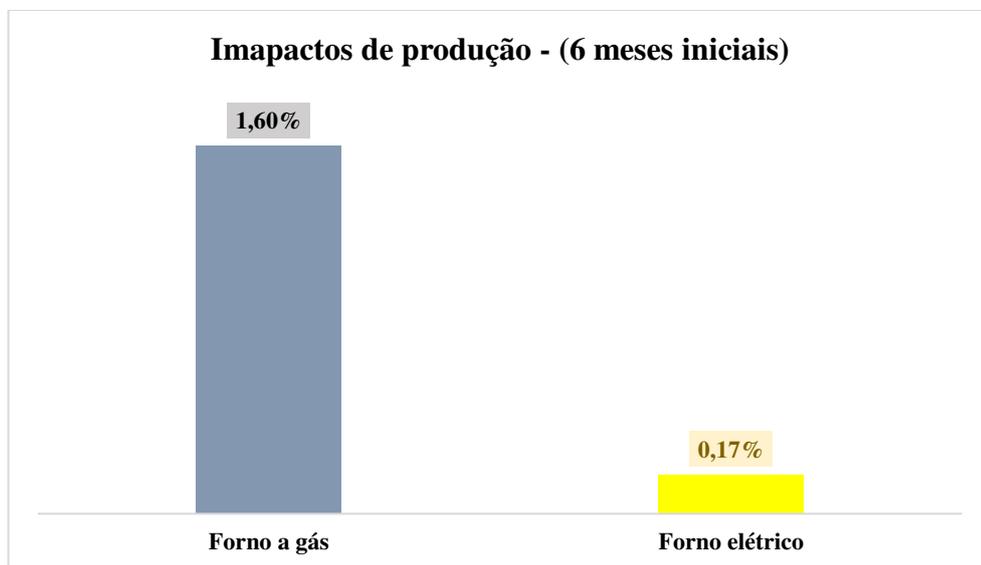
Gráfico 5 - Impactos forno elétrico na empacotadora



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Após a análise dos gráficos, pode-se incluir que nesse estudo de caso o elétrico teve maior eficiência produtiva do que o a gás (também apresentado no gráfico 6), isso pode dar-se por alguns fatores, o principal fator encontrado foi que o a gás necessita de manutenção com periodicidade menor e também de conhecimentos mais específicos, visto que de acordo com o Gerente da área a empresa não tinha um colaborador fixo com habilidades suficientes para entender e resolver de forma mais rápida e assertiva quaisquer falhas que a máquina apresentasse, bem como o único especialista do equipamento encontrado pela empresa residia em outro país, o que dificultava a redução de tempo para as resoluções dos problemas.

Gráfico 6 - Comparação e impactos negativos nos primeiros 6 meses gás/elétrico



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.3.2. Danos ambientais e custos

De acordo com o professor-pesquisador da USP Edmilson Moutinho dos Santos (2002, p.73), “O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves que, em condições normais de pressão e temperatura, permanece no estado gasoso. Na natureza, ele é encontrado em acumulações de rochas porosas no subsolo (terrestre ou marinho), em geral acompanhado de petróleo”, logo entende-se que o gás natural é uma fonte de energia não renovável que impacta significativamente o meio ambiente se comparado as fontes de energia renováveis.

As energias renováveis também trazem alguns impactos ambientais, de acordo com os engenheiros eletricitas Lara Raquel de Jesus Rodrigues Silva, Rafael Amaral Shayani e Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira (2018 p.5-7) hidrelétricas, termelétricas, solar, eólica

podem gerar por exemplo: comprometimento da qualidade da água, a retirada da vegetação nativa para formar o reservatório, interferência na fauna e flora local, alteração da paisagem e até mesmo emissão de gases de efeito estufa, no entanto ainda causam menor impacto do que fontes fósseis.

Conforme McMurry (2008, p.91) os depósitos de gás natural e petróleo são a maior fonte de alcanos disponível. O gás natural é constituído principalmente de metano (CH_4), estando presentes também etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}). De acordo com o relatório do IPCC (2022 p.48) esses compostos são alguns dos mais nocivos para o efeito estufa, as emissões de metano impactaram negativamente o planeta aumentando consideravelmente as temperaturas e concentrações de ozônio na superfície, e atualmente o composto é o maior causador do aumento da temperatura do planeta.

Dito isto, em relação a questões ambientais a tecnologia que utiliza resistência elétrica tem vantagem, já que a distribuidora que fornece energia elétrica para o local do estudo de caso é a ENEL, e a empresa é líder em geração de energia solar e eólica, além de ter grande potencial com hidrelétricas (1,27 mil MW de fonte hidrelétrica, 842 MW eólica e 819 MW solar), Luisa Melo (2018). E por mais que as fontes renováveis não sejam 100% limpas, elas são a melhor opção contra o aquecimento global.

Em relação a custos, para haver a adaptação da máquina e da rede para a mudança de tecnologia do forno foi necessário que o equipamento fosse eletricamente repotencializado, bem como a área de CCM e subestação de energia elétrica. Que fossem também alterados os softwares de controle para o pleno controle motor e de aquecimento do equipamento. O projeto foi realizado devido à ênfase a fatores ecológicos, especialmente no campo da tecnologia de embalagem. Os níveis de eficiência energética são uma das principais preocupações, assim utiliza-se o conceito de túnel de contração de filme plástico que, na versão anterior, era alimentado por aquecedor a gás e foi convertido para aquecimento a eletricidade.

Conceitualmente o túnel de contração de filme plástico, funciona devido a otimização dos cartuchos de aquecimento e do controle do ar, através da análise de fluxo, permite assim a redução significativa do seu consumo de energia. Como alteração básica da embaladora Kister, o queimador a gás natural foi substituído por um sistema de aquecimento elétrico, composto por resistências elétricas, ventiladores, chaves estáticas, controlador de aquecimento automático, alteração das dimensões e seções dos cabos elétricos, seccionadoras elétricas, disjuntores, TC's, TP's. Assim a repotencialização elétrica dar-se-á desde a subestação de energia elétrica, passando pela sala de CCM, até o painel elétrico da empacotadora.

Por fim a fase de aquecimento é relativamente curta ajudando a aumentar a eficiência, com isso a temperatura do túnel de contração pode ser regulada com precisão. Desse modo garantindo a manipulação cuidadosa dos produtos, como também proporcionando bons resultados de encolhimento e sem rugosidades. Ademais, os pontos foram observados e fornecidos no projeto, foram: a instalação de equipamentos e integração no sistema existente, substituição do queimador de gás por novas unidades de inserção com elementos elétricos de aquecimento, alterações elétricas, extensão do gabinete elétrico, ligação elétrica foi aumentada de 35KVA para 154KVA, troca da seccionadora geral de 630A para 1000 A.

Além disso foi realizada a troca da seccionadora da empacotadora de 80A para 400^a e fusível de 315, troca dos cabos de alimentação de 25mm² para 2x150mm² por fase, troca dos TC de correntes e barramento flexível, novo disjuntor, transformador de corrente e peças elétricas e atualização do software de controle. De acordo com o PDB básico do projeto (light – Projetos C 2022), validando os pontos citados acima e a garantia de funcionalidade conforme descrito no capítulo 04 o projeto foi fechado pelo valor total de 1.570.000 reais, conforme pode-se visualizar na Figura 41.

Figura 42 - Orçamento do projeto de instalação do forno elétrico

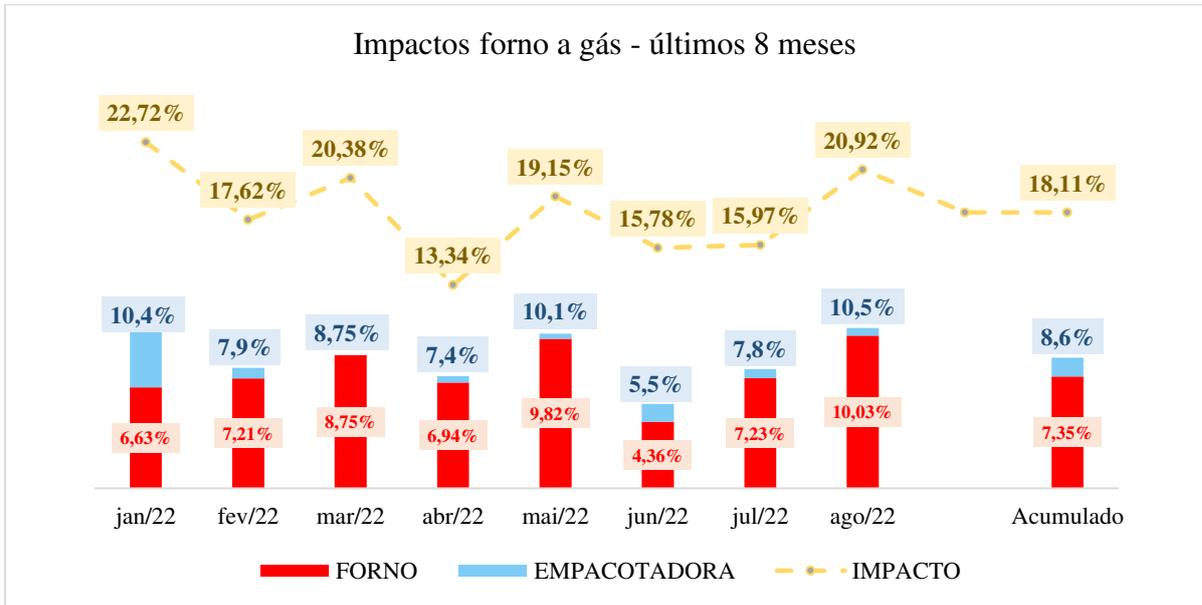
| | | Budget |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| - Instalação | | 1.570.000,00 |
| - Sistemas e Equipamentos | | 0 |
| - Engenharia | | 0 |
| - Construção Civil | | 0 |
| - Transporte | | 0 |
| - Viagens | | 0 |
| - Contingências | | 0 |
| Total Cost | | 1.570.000,00 |
| Excluído: | | |
| | - Aumento de preços | |
| | - Flutuação do câmbio | |
| | - VAT | |
| Precisão: | | |
| | Entre -5% e +10% | |

R\$ (REAIS)

Fonte: PDB Básico (Light – Projetos C): PAC – Upgrade Pack L3 (2022)

É importante verificar os impactos e custos do forno a gás nos últimos 8 meses (período 03) de funcionamento (gráfico 7), sendo em amarelo o valor total de impactos que a linha sofreu no período, em azul o impacto total da empacotadora e em vermelho o impacto do forno dentro da empacotadora, dessa forma é possível compreender que o forno estava retirando uma média de 7,35% da eficiência da linha de produção.

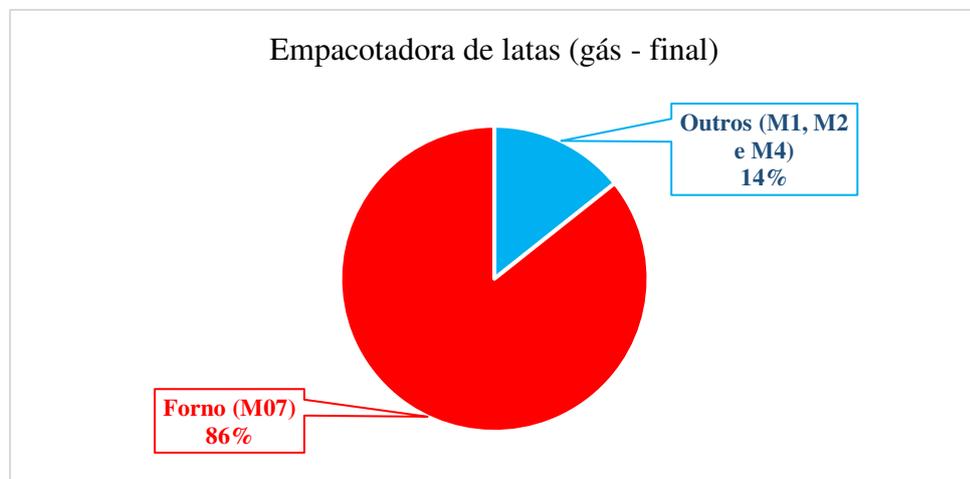
Gráfico 7 - Impactos forno a gás nos últimos 8 meses



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O gráfico 8 mostra quanto o forno a gás estava impactando nos últimos 8 meses de sua utilização, logo ver-se-á que 86% do impacto da empacotadora estava no forno e 14% nas demais partes do equipamento. Em 2022, no período 03 (janeiro a agosto) o forno fez a linha parar por 11.111,1 minutos, resultando em 185,185 horas, para calcular o custo que esse valor representa é necessário levar em consideração alguns custos apresentados na Tabela 1, onde são considerados os valores dos insumos utilizados na linha, como: Lata vazia, tampa, filme stretch, filme shirink e cerveja.

Gráfico 8 - Impactos forno a gás final na empacotadora



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 1 - Custo dos insumos para produção na Linha

| Produtos | Valor médio lata (un) | Valor médio tampa (un) | Valor médio filme shirink (lata) | Valor médio filme strech (lata) | Valor médio folha divisória (lata) | Valor médio da cerveja (hl) | Valor médio da cerveja (ml) | Média total de custo de insumos por lata |
|----------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| 269 ml | | | | | | | | R\$ 0,8481 |
| 350 ml | R\$ 0,4200 | R\$ 0,2400 | R\$ 0,0204 | R\$ 0,0019 | R\$ 0,0044 | R\$ 60,0000 | R\$ 0,0006 | R\$ 0,8967 |
| 473 ml | | | | | | | | R\$ 0,9705 |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Diante disto, verifica-se o custo para produzir qualquer um dos produtos dessa linha, em seguida é importante calcular o saldo das vendas que eram para ter sido realizadas nos períodos de paradas pelo modo de falha em questão, está sendo considerado no cálculo apenas os custos com insumos para a produção, outros custos como mão de obra, transporte, armazenamento e impostos seria redistribuído com o saldo de vendas desses produtos. Para entendimento do cálculo apresenta-se a tabela 2 a qual informa as latas produzidas na linha, a velocidade nominal da enchedora para cada produto, a quantidade de latas não entregues devido as paradas, o custo unitário de produção, o custo total considerando as latas que não foram produzidas, o valor de revenda desses produtos e o saldo das vendas.

Tabela 2 - Custo total relacionado a produção com paradas do forno a gás

| Latas produzidas nessa linha | Velocidade nominal da Enchedora (latas/hora) | Latas não entregues devido parada | Custo unitário de produção | Custo de produção | Valor unitário de venda para revendedor | Valor de venda | Saldo com vendas |
|------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| 269 ml | 90.000 | 16.666.650 | R\$ 0,85 | R\$ 14.134.913,26 | R\$ 1,53 | R\$ 25.499.974,50 | R\$ 11.365.061,24 |
| 350 ml | 90.000 | 16.666.650 | R\$ 0,90 | R\$ 14.944.912,45 | R\$ 1,79 | R\$ 29.899.970,10 | R\$ 14.955.057,65 |
| 473 ml | 72.000 | 13.333.320 | R\$ 0,97 | R\$ 12.939.928,98 | R\$ 2,03 | R\$ 33.899.966,10 | R\$ 20.960.037,12 |
| Média | 84.000 | 15.555.540 | R\$ 0,91 | R\$ 14.006.584,90 | R\$ 1,79 | R\$ 29.766.636,90 | R\$ 15.760.052,00 |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Entende-se então que houve uma redução de saldo de média de 15,76 milhões de reais entre janeiro e agosto de 2022 relacionado apenas ao forno a gás, outro fator importante a ser levantado está nos custos com gás natural antes e depois do forno a gás e o custo com energia elétrica antes e depois da instalação do forno elétrico. Verificando a tabela 3 que informa o custo mensal dos últimos 8 meses do forno a gás, entende-se que no período foi utilizado 137.048,88

m³ de gás natural a uma tarifa variável por mês, média no ano de 4,66 R\$/m³, ou seja, o uso do gás levou a um custo de 615.390,01 reais, que tirando uma média dos meses que houve consumo, obtém-se uma média de 76.923,75 reais de custo mensal com gás natural.

Tabela 3 - Custo mensal com gás natural (janeiro 2022 a abril 2023)

| Forno | HL produzidos nos meses de referência | Cerveja produzida (hl) | Tarifa (R\$/m ³ sem impostos) | Consumo de gás natural (m ³) | Índice - consumo/ produzido | Custo total | Custo médio |
|--------------|---------------------------------------|------------------------|--|--|-----------------------------|----------------|---------------|
| A Gás | jan/22 | 88.360,63 | 3,80 | 19.872,52 | 0,22 | R\$ 75.515,57 | R\$ 76.923,75 |
| | fev/22 | 81.146,85 | 4,20 | 17.784,34 | 0,22 | R\$ 74.694,22 | |
| | mar/22 | 71.682,90 | 4,20 | 17.204,50 | 0,24 | R\$ 72.258,92 | |
| | abr/22 | 61.285,01 | 4,21 | 13.135,65 | 0,21 | R\$ 55.301,08 | |
| | mai/22 | 86.477,07 | 4,79 | 15.684,25 | 0,18 | R\$ 75.127,54 | |
| | jun/22 | 116.429,30 | 4,79 | 21.700,94 | 0,19 | R\$ 103.947,48 | |
| | jul/22 | 106.543,11 | 4,91 | 19.419,62 | 0,18 | R\$ 95.350,34 | |
| | ago/22 | 54.387,90 | 5,16 | 12.247,07 | 0,23 | R\$ 63.194,87 | |
| Elétrico | set/22 | 79.083,78 | 5,16 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | - |
| | out/22 | 78.002,49 | 5,16 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| | nov/22 | 80.539,77 | 4,67 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| | dez/22 | 93.096,81 | 4,74 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| | jan/23 | 61.849,57 | 4,75 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| | fev/23 | 79.723,30 | 4,75 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| | mar/23 | 82.720,98 | 4,75 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| | abr/23 | 69.770,53 | 4,55 | 0,00 | 0,00 | R\$ 0,00 | |
| TOTAL | | 1.291.100,00 | 4,66 | 137.048,88 | 0,21 | R\$ 615.390,01 | |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Neste ponto, necessita-se realizar um paralelo ao acréscimo de custo referente a energia elétrica, na Tabela 4 observa-se que houve um aumento de cerca 63.365,03 Kwh mensais depois da instalação da tecnologia à resistência elétrica. Nos primeiros 8 meses (gás) ocorreu um custo de R\$ 143.462,65 e nos últimos 8 meses (elétrico), conforme esperado o consumo aumentou, esse aumento gerou um custo de R\$ 277.027,24, ou seja, teve um acréscimo de R\$ 133.695,57, que dividindo pelos últimos 8 meses obtém-se cerca de R\$ 16.695,57 de aumento mensal a uma tarifa mensalmente variável com média de 0,26 (sem impostos).

Tabela 4 - Custo mensal de energia elétrica da linha (janeiro 2022 a abril 2023)

| Forno | HL produzidos nos meses de referência | Cerveja produzida (HL) | Tarifa (R\$/Kwh sem impostos) | Consumo de energia elétrica (Kwh) | Índice - consumo/ produzido | Custo total | Custo por tecnologia |
|----------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------|
| A gás | jan/22 | 88.360,63 | 0,22 | 71.675,64 | 0,81 | R\$ 15.768,64 | R\$ 143.462,65 |
| | fev/22 | 81.146,85 | 0,24 | 69.396,30 | 0,86 | R\$ 16.446,92 | |
| | mar/22 | 71.682,90 | 0,25 | 66.745,40 | 0,93 | R\$ 16.686,35 | |
| | abr/22 | 61.285,01 | 0,25 | 55.205,60 | 0,90 | R\$ 13.580,58 | |
| | mai/22 | 86.477,07 | 0,29 | 62.667,50 | 0,72 | R\$ 17.985,57 | |
| | jun/22 | 116.429,30 | 0,29 | 78.802,60 | 0,68 | R\$ 22.616,35 | |
| | jul/22 | 106.543,11 | 0,29 | 81.807,72 | 0,77 | R\$ 23.478,82 | |
| | ago/22 | 54.387,90 | 0,29 | 58.883,00 | 1,08 | R\$ 16.899,42 | |
| Elétrico | set/22 | 79.083,78 | 0,29 | 127.037,00 | 1,61 | R\$ 36.459,62 | R\$ 277.027,24 |
| | out/22 | 78.002,49 | 0,29 | 112.167,30 | 1,44 | R\$ 32.192,02 | |
| | nov/22 | 80.539,77 | 0,29 | 138.368,04 | 1,72 | R\$ 39.711,63 | |
| | dez/22 | 93.096,81 | 0,29 | 147.864,84 | 1,59 | R\$ 42.437,21 | |
| | jan/23 | 61.849,57 | 0,24 | 124.116,07 | 2,01 | R\$ 29.415,51 | |
| | fev/23 | 79.723,30 | 0,24 | 129.579,69 | 1,63 | R\$ 30.710,39 | |
| | mar/23 | 82.720,98 | 0,24 | 145.086,57 | 1,75 | R\$ 34.385,52 | |
| | abr/23 | 69.770,53 | 0,25 | 127.884,52 | 1,83 | R\$ 31.715,36 | |
| Total | 1.291.100,0 | 0,26 | 1.597.287,8 | 1,24 | R\$ 420.489,89 | | |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Por fim, realizando um comparativo em custo com energéticos, a linha deixou de ter um consumo médio mensal de R\$ 76.923,75 com gás natural e teve um aumento do consumo com energia elétrica em média de R\$ 16.695,57 mensais, ou seja, infere-se que a linha reduziu o custo com energéticos cerca de R\$ 60.228,18, isso equivale a uma redução de 78,3% no custo com consumo de energéticos. Considerando apenas a redução de custo com energético o forno à resistência se pagaria com cerca de 25 meses. Porém nesse momento é importante trazer mais uma variável, foi visto na tabela 2 que em 8 meses os impactos que o forno causou na linha fez com que a companhia não tivesse um saldo de R\$ 15.760.052,00 para distribuir entre lucro, mão de obra, transporte e impostos. Dividindo esse valor pelos 8 meses de análise, verifica-se um total médio de R\$ 1.970.006,50 mensais, dessa forma o projeto do forno à resistência elétrica já se pagaria entre o primeiro e o segundo mês de utilização.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados, infere-se que o forno com tecnologia à resistência elétrica tem vantagem sobre o forno a gás natural, pois o forno elétrico necessita de menos habilidades específicas para manutenção, além de ter um sistema lógico mais simplificado, ele possui menos peças de ajuste, reduzindo assim o nível de possíveis erros humanos. Além disso, de acordo com o gerente de manutenção da fábrica existe uma grande dificuldade de encontrar profissionais especializados no Brasil, em contrapartida com o elétrico basta o técnico eletricista ter uma boa base em modelos elétricos para conseguir resolver a maioria dos possíveis problemas apresentados.

Em relação ao operacional os dois modelos são semelhantes, no entanto é importante ressaltar que o elétrico, para o colaborador, tem menos propensão de causar danos do que o a gás se analisado os riscos apresentados pelas tecnologias, assim ele necessita de menos condições lógicas para evitar acidentes, reforçando a maior simplicidade do sistema. Ademais, outro ponto importante são os impactos ambientais, sabe-se que em 2022 a Ex-governadora do Estado do Ceará Izolda Cela foi ao Egito para a 27ª Conferência da ONU sobre mudanças Climáticas para debater e assinar medidas para conter as mudanças climáticas a partir de mecanismos aplicáveis globalmente (GOVERNO DO CEARÁ, 2022).

Ou seja, alinhado com tentativa de redução de danos ao planeta adotadas pelo mundo salienta-se os impactos que os dois equipamentos podem causar ao meio ambiente, enquanto o elétrico utiliza energia elétrica como base do seu funcionamento e essa energia é fornecida por uma distribuidora que é líder no Brasil em geração de energias renováveis, essas energias causam níveis de impacto ambientais ínfimos comparando-os ao gás natural que é uma fonte de energia fóssil e tem em sua composição o metano, sendo um dos intensificadores do aumento da temperatura Global (IPCC, 2022 p.48).

Diante do exposto, salienta-se ainda a relação de custo-benefício do forno a gás e do elétrico, visto que no caso apresentado, no início de sua vida útil o forno a gás causou 1,43% a mais impactos a linha de produção do que no início da vida útil do elétrico, causadas principalmente por falta de um técnico especializado e da realização correta das manutenções preventivas do equipamento, dessa forma sofrendo desgaste prematuro, chegando assim a impactar ao final da sua vida útil cerca de 7,35% na eficiência da linha gerando um alto custo para a fábrica.

Dessa forma, é importante frisar além de mais simples o elétrico necessita de um maior intervalo entre as manutenções preventivas, isto é a redução da possibilidade de desgaste precoce. Outrossim, o custo com consumos de energéticos reduziu cerca de 78,3% mensais com a substituição dos fornos, além do estado do equipamento, as tarifas locais para gás são mais altas do que as referentes a energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- SANTOS, Edmilson Moutinho dos. **Gás Natural: Estratégias para uma energia nova no Brasil**. 1ªed. São Paulo: Annablume, Fapesp, Petrobras, 2002 p.73.
- SILVA, Lara Raquel de Jesus Rodrigues; AMARAL, Rafael; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. **Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais, aplicada ao Distrito Federal**. Congresso brasileiro de energia solar - CBENS, 2018 p. 5-7.
- BIZERRA, Ayla Márcia Cordeiro; QUEIROZ, Jorge Leandro Aquino de; COUTINHO, Demétrios Araújo Magalhães. **O IMPACTO AMBIENTAL DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E DOS BIOCOMBUSTÍVEIS: AS CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMA**. Revista brasileira de educação ambiental. Revbea, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 299-315, 2018.
- BAUKAL, Charles E. **Industrial Burners Handbook**. Boca Raton: CRC Press. 2003 p.202-257.
- NELSON, Richard. **The co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions**. Industrial and Corporate Change, Oxford, v.3, 1º ed., p.47-64, 1994.
- TRINKS, W. et al. **Industrial Furnaces**. 6th Revised ed. ed. Wiley-Interscience, 2003 p. 87-132.
- GÓNGORA, Deynier Montero et al. **Post-combustion artificial neural network modeling of nickel-producing multiple hearth furnace**. International Journal of Chemical Reactor Engineering, v. 18, n. 7, 2020.
- JENKINS, B, MULLINGER, Peter. **Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation**. 2ªed. Butterworth-Heinemann, 2013.
- WILLIAMSON, M.E., WILSON, D. I. **Development of an improved heating system for industrial tunnel baking ovens**. Journal of Food Engineering. V. 91 1ª ed. 2009.
- FOGARTY, Terence C. **Rule-based optimization of combustion in multiple-burner furnaces and boiler plants**. Engineering Applications of Artificial Intelligence. v1 3ªed. P. 203-209.
- GOODFELLOW, Howard D., WANG, Yi. **Industrial Ventilation Design Guidebook**. v2. Elsevier Science. 2021.
- TOULOUEVSKI, Yuri N., ZINUROV, Ilyaz Y. **Electric ARC Furnace with Flat Bath: Achievements and Prospects**. Springer 2015 p. 21-55.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. **Microwave Processing of Materials**. Natl Academy Pr. 1994.kaukal

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. UFSC, 4^a ed. Florianópolis, 2005.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

PHILIP, T.V. **Industrial Heating: Principles, Techniques, Materials, Applications, and Design**. CRC Press, 2013.

SCHNELL, Jurgen P. **Pyrolysis: Principles and Applications**. Wiley, 2019.

BELLIS, Mary. **História do forno do ferro fundido ao eléctrico**. Eferrit. Disponível em: <https://gl.eferrit.com/historia-do-forno-do-ferro-fundido-ao-electrico/>. Acesso em: 17 set. 2022

ZONZO, Zendile. **The influence of heat energy in French Cuisine Cooking today**. Timetoast. 2018? Disponível em: <https://www.timetoast.com/timelines/the-influence-of-heat-energy-in-french-cuisine-cooking-today>. Acesso em: 17 set. 2022

MILLAR, D. et al. **The Cambridge Dictionary of Scientists**. Cambridge University Press, p. 311, 1996.

SWEDISH INSTITUTE. **Swedish Inventions and Discoveries**. Fact Sheets on Sweden, p. 02, 2003. Disponível em: https://web.archive.org/web/20040611082227/http://www.sweden.se/upload/Sweden_se/english/factsheets/SI/SI_FS91c_Swedish_Inventions_and_Discoveries/FS91d.pdf. Acesso em: 18 set. 2022

AHMAD, Zaki. **Industrial High Temperature Applications: Combustion and Thermal Systems**. CRC Press, 2017.

JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE. **Specification of a patent for an improved Parlour Stove**: Jordan L. Mott. v. 26, e. 5, p. 310-312, 1938.

SIMKIN, Mikhail; ROYCHOWDHURY, Vwani. Von Richthofen, **Einstein and the AGA**: estimating achievement from fame. Significance, v. 8, n. 1, p. 22-26, 2011.

CALDEIRA, Ana. **CONHEÇA A HISTÓRIA DO FOGÃO, SUA EVOLUÇÃO E DIFERENTES CARACTERÍSTICAS**. Sociedade da mesa: Clube de Vinhos. Disponível em: <https://revista.sociedadedamesa.com.br/2015/01/na-cozinha-tem-historia-fogao/>. Acesso em: 18 set. 2022

RHOMOS, **Os principais segmentos que usam um forno industrial**. 2016. Disponível em: <https://rhomos.com.br/os-principais-segmentos-que-usam-um-forno-industrial/#comment-1277>. Acesso em: 18 set. 2022 Disponível em: <https://rhomos.com.br/os-principais-segmentos-que-usam-um-forno-industrial/#comment-1277>. Acesso em: 18 set. 2022

MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS. **Tipos de fornos industriais**. 2018. Disponível em: <https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/tipos-de-fornos-industriais/#comment-6271&gsc.tab=0>. Acesso em: 18 set. 2022. Disponível em:

<https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/tipos-de-fornos-industriais/#comment-6271&gsc.tab=0>. Acesso em: 18 set. 2022

INSTITUTO AÇO BRASIL. **PROCESSO SIDERÚRGICO**: Aprenda aqui sobre o processo de fabricação do aço e entenda as diferenças entre os tipos de usinas siderúrgicas. 2022?. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>. Acesso em: 18 set. 2022

FERNANDES, Luciano. **A história do fogareiro de camping**. 2021. Disponível em: <https://blogdescalada.com/a-historia-do-fogareiro-de-camping/>. Acesso em: 18 set. 2022.

CANADA SCIENCE AND TECHNOLOGY MUSEUM. **Early Electric Cooking: 1900 to 1920**. (n.d.). 2012. Disponível em: <http://www.sciencetech.technomuses.ca/english/collection/stoves5.cfm>. Acesso em: 18 set. 2022.

KHS. **Technische Information Installations- und Betriebsanleitung**. Promeos, v13 2012.

KHS. **Treinamento para a equipe de manutenção: Innopack - Kisters SP A-H 89404282**. 2022.

BASTOS, Cleverson Leite; KELLER, Vicente. **Aprendendo a aprender**: introdução à metodologia científica. 19. ed. Petrópolis: Vozes, 2006.

BITTAR, Eduardo Carlos Bianca. **Linguagem jurídica**. São Paulo: Saraiva, 2001.

HORIZONTE. Secretaria Municipal de Educação. **Censo escolar**. Horizonte: Secretaria Municipal de Educação, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2003**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

LARA, Marilda Lopes Ginez de; SMIT, Johanna Wilhelmina. **Temas de pesquisa em Ciência da Informação no Brasil**. São Paulo: Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/000005/00000588.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2012.

MUELLER, Suzana Pinheiro Machado; PERUCCHI, Valmira. Universidades e a produção de patentes: tópicos de interesse para o estudioso da informação tecnológica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 15-36, 2014.

PRESERVAÇÃO do meio ambiente: manifesto do chefe de Seattle ao presidente dos EUA. São Paulo: Babel Cultural, 1987.

ROSAS, Anny Jacqueline Cysne. **Sustentabilidade da atividade produtora de água envasada em Fortaleza, CE**. 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SISS, Ahyas. Afro-brasileiros e Educação Superior: notas para debates. *In*: COSTA, Hilton; PINHEL, André; SILVEIRA, Marcos Silva da (org.). **Uma década de políticas afirmativas: panorama, argumentos e resultados**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. p. 18-26.

TARAPANOFF, K. Educação corporativa. *In*: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GESTÃO DO CONHECIMENTO E INTELIGÊNCIA COMPETITIVA, 1., 2006, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: CIETEP, 2006. Disponível em: <http://www.gecic.com.br>. Acesso em: 22 out. 2006. p. 59-70.

TRISTÃO, Ana Maria Delazari; FACHIN, Gleisy Regina Bóries; ALARCON, Orestes Estevam. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento. **Ciências da Informação**, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p. 172-178, 2004. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/index.php/ciinf/article/view/265/233>. Acesso em: 2 out. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: Biblioteca Universitária, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ufc.br/wp-content/uploads/2019/10/guia-de-citacao-06.10.2019.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2021.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, **Governadora Izolda Cela apresenta ações climáticas do Ceará na COP27**. Ascom Casa Civil, 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. WMO, UNEP. 2022 p. 48.